



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A
ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

SPÍNACÍ MECHANISMUS VE VÝKONOVÉM JISTIČI

SWITCHING MECHANISM IN THE MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ MEJZLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ DOSTÁL

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Bc. Tomáš Mejzlík

ID: 125541

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Spínací mechanismus ve výkonovém jističi

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište rozdílné konstrukční metody spínacího mechanismu v elektrických jističích.
2. Proveďte výpočet spínacího mechanismu.
3. Vytvořte a analyzujte vysokorychlostní video spínacího mechanismu.
4. Vytvořte animaci 3D modelu spínacího mechanismu.
5. Vytvořte analýzu mechanického namáhání 3D modelu v programu SolidWorks.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] RAČEK, Jiří. Mechanika pro silnoproudou elektrotechniku a elektroenergetiku: přehled teorie a úlohy. 1. vyd. Brno: Vutium, 2000, 161 s. ISBN 80-214-1662-9.
- [2] HAVELKA, Otto. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Stavba elektrických přístrojů I. 2. vydání. VUT v Brně: Rektorát VUT v Brně, 1988.

Termín zadání: 27.9.2013

Termín odevzdání: 28.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Dostál

Konzultanti diplomové práce:

Ing. Ondřej Vítek, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce se zabývá spínacím mechanismem ve výkonovém jističi nízkého napětí. Cílem bylo analyzovat spínací mechanismus teoreticky a prakticky. Teoretickou analýzou je myšleno nastudování různých typů spouštěcích mechanismů doplněných o analytické výpočty zrychlení, rychlostí a trajektorií. Praktická analýza byla prováděna pomocí vysokorychlostní kamery, reálného jisticího přístroje a softwaru, ve kterém byl následně záznam zpracováván. Další část práce pak měla za cíl vytvoření 3D modelu spínacího mechanismu, jeho animace a analýzy.

ABSTRACT

This paper deals with mechanical switch in circuit breaker designed for low voltage. The goal of this thesis was to analyze switching mechanism both theoretically and practically. Theoretical analysis consist of study different types of switching mechanism and analytical calculations of acceleration speed and trajectory. Practical analysis has been made taking a video with high speed camera of real switching mechanism of a circuit breaker and software analysis of the data. The next part of a thesis is about 3D modeling, animating and simulating of a switchgear switching mechanism.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MEJZLÍK, T. *Spínací mechanismus ve výkonovém jističi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lukáš Dostál.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektrický jistič, spínací mechanismus, vysokorychlostní kamera, solidworks, animace, analýza, modelování.

KEYWORDS

Circuit breaker, switching mechanism, high speed camera, solidworks, animation, analyzing, modeling.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Spínací mechanismus ve výkonovém jističi nízkého napětí jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Lukáši Dostálovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji společnosti Google za poskytnutí kvalitního vyhledávače a služby Knihy Google, které mi pomohli při zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Petru Slavatovi, se kterým jsem spolupracoval na bakalářské práci a který mě naučil pracovat v AutoCADu efektivně s důrazem na přesnost a výrobní postupy.

V Brně dne

Podpis autora

OBSAH

Úvod	1
1 Elektrický jistič	2
1.1 Vzduchové jističe.....	2
1.2 Využití plynu SF6.....	3
1.3 Vakuové jističe	4
1.4 Shrnutí.....	4
2 Spouště	5
2.1 Úvod do spouští	5
2.2 Různý typy.....	5
2.2.1 Pákové mechanismy	5
2.2.2 Kloubový mechanismu	6
2.2.3 Klikový mechanismus.....	6
2.2.4 Mechanismus vahadlový.....	7
2.2.5 Různé druhy vahadlového mechanismu.	7
2.2.6 Přesný eliptický přímovod	7
2.2.7 Váčkové mechanismy	8
2.2.8 Západky	8
2.2.9 Rohatka	9
2.3 Shrnutí kapitoly.....	9
3 Síly působící v mechanismu jističů	10
3.1 Setrvačné síly mechanismu.....	10
4 Vysokorychlostní kamera	12
4.1 Historie vysokorychlostní fotografie	12
4.2 Parametry a princip záznamu.....	12
4.2.1 Obrazový senzor	12
4.2.2 CCD vs. CMOS	12
4.2.3 Rozlišení	13

4.2.4	Clona.....	13
4.2.5	Ohnisková vzdálenost	13
4.2.6	Rychlost závěrky.....	13
4.2.7	Počet snímků za sekundu	13
4.2.8	Barevná hloubka	14
4.2.9	Princip záznamu.....	14
4.3	Stručný popis rychlokamery FASTCAM SA-X2.....	14
4.3.1	Parametry	15
4.4	Využití	16
5	Video	18
5.1	Rozložení, vyfrézování a složení jističe	18
5.2	Příprava na záznam vysokorychlostní kamerou	20
5.3	Zpracování záznamů	22
6	Měření sil na páce jističe	28
6.1	OFF-ON.....	29
6.2	ON – OFF	30
6.3	TRIP-RESET	31
7	Softwarová analýza jističe	32
7.1	Modely jednotlivých součástí	32
7.1.1	Varianta 1 – rozměrové výkresy přímo od výrobce	32
7.1.2	Varianta 2 – vytvořit model pomocí 3D skeneru.....	32
7.1.3	Varianta 3 – ruční kreslení za pomoci fotoaparátu.....	32
7.1.4	Ukázka modelování v praxi	33
7.2	Sestavení celého modelu v Solidworksu	36
7.3	Vazby	38
7.4	Animace	39
7.5	Analýza	40
7.5.1	Porovnání jednoduché úlohy a teoretických předpokladů.....	40
7.5.2	Analýza sestavy v softwaru Solidworks	41
8	Závěr	43
	Literatura	44
	Seznam grafů	45

Seznam tabulek	46
Seznam obrázků	47
Příloha	49

ÚVOD

Tento dokument slouží jako diplomová práce pod Ústavem výkonové elektroniky a elektrotechniky Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně. Úvodní kapitola je určena k nastínění celé problematiky, a proto zde budou ve stručnosti představeny všechny hlavní kapitoly diplomové práce.

Je třeba zabránit, aby se ke spotřebičům dostaly nadproudy, které by je mohly poškodit. Je to důležité z důvodů ochrany elektrického vedení a spotřebičů. Jednou z možných ochranných opatření je použití elektrického jističe mezi zdrojem a chráněnou částí. Elektrický jistič pak rozepne obvod v případě, že ucítí nadproudy nebo zkratové proudy. Především druhá jmenovaná možnost je z hlediska konstrukčního návrhu kritická. Při vypínání zkratových proudů si musí jistič umět poradit s elektrickým obloukem a velkým jak elektrickým, tak mechanickým zatížením. V této kapitole jsou představeny vzduchové jističe, jističe využívající plyn SF₆ a vakuové jističe.

Práce se zabývá spouštěmi elektrického jističe a v první kapitole jsou představeny různé druhy od kloubového mechanismu, přes klikový, vahadlo, eliptický až k označení sil, které v nich působí. Také jsou zde stručně představeny vačkové mechanismy, západky a rohatka.

V druhé kapitole je věnován prostor označení analytického výpočtu sil, momentů a zrychlení působících obecně ve spínacích mechanismech přístrojů. Základem jsou síly posuvné a rotační, které se pak skládají do větších celků a určují pohyb celého zařízení.

Praktická část semestrálního projektu byla pokročena za vydatné pomoci vysokorychlostní kamery FASTCAM SA-X2. V této kapitole jsou informace týkající se zčásti vysokorychlostního záznamu obecně a zčásti konkrétní kamery FASTCAM SA X2.

Kapitola s názvem Video zastřešuje čistě praktickou část a popisuje přípravu k vytvoření vysokorychlostního videa, jeho samotné natáčení a následné zpracování ve specializovaném programu ImageJ a také v tabulkovém editoru Microsoft Excel.

Aby bylo s čím porovnávat výsledky získané softwarovou analýzou, je dobré získat nějaké podklady z měření na reálném kusu jističe. V této kapitole je stručně vysvětleno, jakým způsobem probíhalo měření sil na páce a jaké byly výsledky.

V předposlední kapitole je popsáno a vysvětleno celé softwarové zpracování této diplomové práce. Od podkladů k překreslování, modelování, importu do Solidworksu až po vytvoření animace.

Na závěr je popsáno shrnutí celé práce, čeho bylo dosaženo, čeho ne, a jak by mohlo být naloženo se současnými výsledky.

1 ELEKTRICKÝ JISTIČ

Potřeba elektrického jisticího prvku vznikla již v době dávno před rozvojem silnoproudé elektřiny. V roce 1847 francouzský vědec Louis François Clément Breguet doporučil použít slabší dráty v telegrafním vedení, aby byly ochráněny telegrafní stanice před vyhořením způsobeným úderem blesků do telegrafního vedení. Nicméně první patent na jisticí prvek popsal až Thomas Edison v roce 1879. Smyslem onoho patentovaného jisticího prvku bylo ochránit elektrický obvod napojený na osvětlení před zkraty a nadproudy. Miniaturní jistič moderního ražení byl patentován v roce 1924 pány Brownem, Boverim a Ciem nicméně jako vynálezce se považuje Stotz, který prodal svoji firmu právě BBC.

Připojováním více a více generátorů elektrické energie do sítě vyžadovalo rozvoj na poli jisticích prvků. Byla vyžadována konstrukce jističů na větší napětí a schopnosti bezpečně odpojit větší a větší zkratové proudy. Jednoduché manuální vzduchové jističe vytvářely při vypínání velkých proudů nebezpečný elektrický oblouk. Z toho důvodu se začali vědci a inženýři tehdejší doby pít po jiné alternativě. Postupně objevovali možnosti k ochlazení a uhašení oblouků stlačený vzduch a stlačený olej. V roce 1935 byly technologie tak daleko, že umožnily při stavbě vodní elektrárny na Boulder Dam použít jističe vybavené stlačeným olejem se schopností vypnout až 2500 MVA.

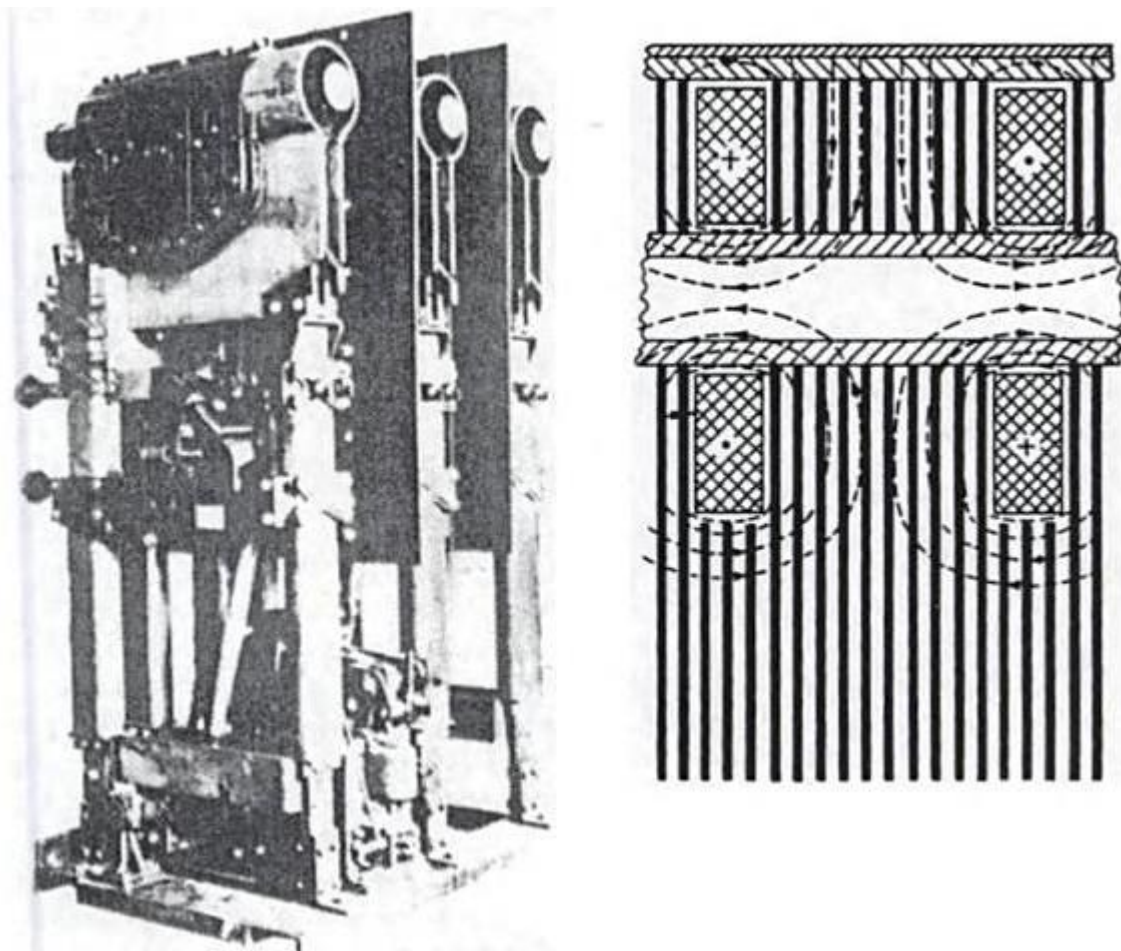
Z pohledu historických začátku byly právě olejové jističe těmi nejúspěšnějšími. Olejový jistič využívá energii plazmatu vznikajícího při hoření oblouku k rozložení molekul oleje a vytvoření plynu. Plyn je za přítomnosti dobře navrženém kontrolního systému použit zchlazení a uhašení obloukového plazmatu jeho deionizací. Kontrolovaný proud plynu a oleje pak umožnil inženýrům a konstruktérům z General Electric vyrobit výše zmíněný jistič složený z 8 stupňového rozpojovacího mechanismu na 287 kV a 2500 MVA. Jistič byl schopný ve třech cyklech vypnout za jakýchkoliv podmínek. Tyto jističe použité v Boulder Dam byly také první, které byly systematicky testovány při vysokých výkonech. Jističe byly schopny pracovat bez poruchy při vypínání zkratových proudů až do hodnot 4000 MVA. Vysoké ceny mechanismů potřebných pro usměrnění oleje byly nepříznivé pro jejich další vývoj.

Text v této kapitole čerpá především z knihy Power circuit breaker theory and design [1].

1.1 Vzduchové jističe

Vzduch se jeví jako přirozeně dobré prostředí pro vypínání elektrických oblouků z několika důvodů. Za normálních teplot má dobré izolační vlastnosti a je zdarma dostupný všude kolem nás. Problém u vzduchových jističů je ten, že jakmile dojde k zažehnutí elektrického oblouku, vzduch v jeho okolí dosáhne vysokých teplot, což dělá chlazení plazmatu problematické. Jedním z prvních pokroků na poli výkonových vzduchových jističů byl objev Slepaina v roce 1929 ve Westinghousu. Zjistil, že pokud je napětí mezi elektrodami menší než určitá hodnota, oblouk samovolně uhasne nehledě na to, jak malá je mezera mezi elektrodami a jak velký je proud. Na základě jeho objevu byla sestavena zhašecí komora oblouku sestavená z žebrovaní s mnoha mezerami.

Oblouk je elektromagnetickými silami vehnán do komory, kde dojde díky mnoha malým mezerám a deskám k rozmělnění napětí.



Obrázek 1.1) Vzduchový jistič Westinghouse, 1929 (15 kV) se schématem žebrování [1]

1.2 Využití plynu SF₆

Vzduch je sice nejdostupnější plyn na planetě zemi, ale pro zhasnutí oblouku není tím nejideálnějším. Z alternativ se ukázal jako nejefektivnější fluorid sírový. Důvodem je jeho elektronegativita a vysoká ionizační energie. Použití SF₆ jako izolační médium si poprvé nechal patentovat Vitaly Grosse z AEG v Německu v roce 1938 a nezávisle na něm později v roce 1951 v USA tým výzkumníků pod firmou Westinghouse. Prvním použitím v praxi se datuje na rok 1953, kdy byly vyvinuty jističe na napětí 15-161 kV s vypínací schopností 600 A. V roce 1959 Westinghouse uvedl na trh SF₆ jistič, který byl schopný vypnout 10 000 – 15 000 MVA (41,8 kA a 138 kV nebo 37,6 kA s napětím 230 kV). Dominanci na poli vysokonapěťových jističů zajistil SF₆ uvedením na trh řady jističů na napětí 245, 420, 550 a 800 kV v roce 1983. Nevýhodou je nešetrnost plynu k životnímu prostředí, z toho důvodu se také objevují další alternativy. Například ABB v roce 2012 prezentovalo 75kV jistič, který místo SF₆ používá CO₂, čímž dojde ke snížení emisí až

o 10 tun během života produktu.

1.3 Vakuové jističe

Největším problémem při rozpojování elektrického obvodu za zkratových podmínek je elektrický oblouk. *Podmínkou* vzniku elektrického oblouku je prostředí, které lze ionizovat na plazma. V ideálním případě by vakuum bylo prostor, ve kterém se nenachází žádné částice a není tedy co ionizovat. V případě vakuových jističů jsou kontakty umístěny ve vzduchotěsné komoře, která je podtlakována. Na rozdíl od předchozí kapitoly zde není žádoucí vysoký tlak, ale právě naopak – velmi malý. Jediné částice, které mohou být ionizovány, jsou v případě vakuových jističů kontakty. Na ně jsou tedy kladeny velké nároky.

První pokusy s vakuovými jističi se objevily v roce 1926. Pánové Sorenson a Mendenhall sestrojili vakuový jistič schopný vypínat malé proudy při napětích do 40 kV. S tehdejší technikou ovšem nebylo možné sestrojit jističe se schopnostmi vypínat vyšší výkony. O více než dvacet let později na vakuových jističích pracovaly týmy vědců, kteří naráželi na spoustu problémů. Zjistili, že je třeba odstranit veškeré molekuly plynů absorbované v kovových komponentech jističe. To ovšem kladlo velké nároky na výrobní procesy a metalurgii.

První vakuové jističe schopné vypínat velké zkratové proudy se tedy objevily až v roce 1962 a dalších 10 let vývoje bylo třeba k optimalizace výrobního procesu, aby bylo možné zavést sériovou výrobu.

Vakuové jističe v současnosti nabízí největší přiblížení k ideálnímu vypínacímu prvku. Jsou téměř bezúdržbové a konzistentní schopnost vypnout obvod při první nule po naběhnutí zkratového proudu, ale používají se až ve VN přístrojích.

1.4 Shrnutí

Z důvodů ochrany elektrického vedení a spotřebičů je třeba zabránit tomu, aby se k nim dostaly velké proudy, které by mohly zařízení poškodit. Jednou z možných ochran je použití elektrického jističe mezi zdrojem a chráněnou částí. Elektrický jistič pak rozeprve obvod v případě, že ucítí nadproud nebo zkratové proudy. Především druhá jmenovaná možnost je z hlediska konstrukčního návrhu kritická. Při vypínání zkratových proudů si musí jistič umět poradit s elektrickým obloukem a velkým jak elektrickým tak mechanickým zatížením.

2 SPOUŠTĚ

2.1 Úvod do spouští

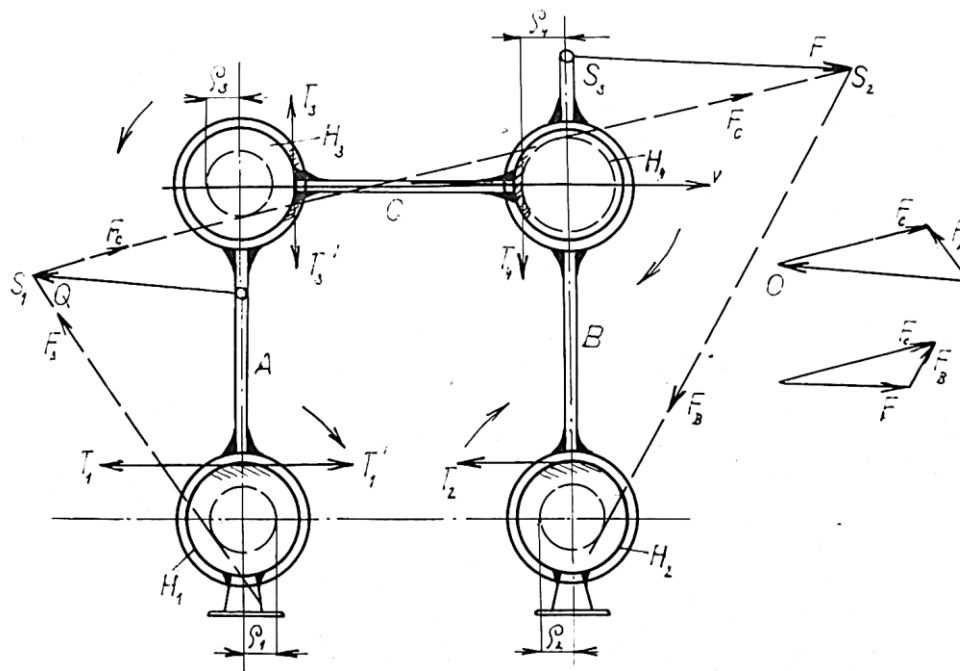
Od elektrického jističe je vyžadováno zapínání a vypínání jak při nulovém zatížení, tak i při jmenovitém a při zkratových proudech. Z toho důvodu je nutné navrhnout a zkonstruovat mechanismus, které umožní obvod efektivně rozpojit a v případě potřeby zase spojit. Text v této kapitole čerpá především z knihy Konstrukce elektrických přístrojů I [2].

2.2 Různý typy

2.2.1 Pákové mechanismy

Mechanismy spínacích elektrických přístrojů konají většinou v poháněcí části pohyb rotační, avšak otáčení nesleduje celou otočku, nýbrž jen její malou část. Není proto nutné provádět takové mechanismy, které by dovolovaly plné otáčení a k tomu jsou nejvhodnější pákové mechanismy. V technice spínacích přístrojů se setkáváme s nejrůznějšími variacemi pákových mechanismů.

Mezi mechanismy pákové patří tzv. mechanismy s vidlicí. Jeden člen má kladku, která může být nepohyblivá a která zabírá do vidlicového výřezu ve druhé páce. Zatímco u předešlého pákového mechanismu se všechny páky otáčely stejným směrem, dosáhne u vidlicového mechanismu obrácení směru rychlosti. Jako všechny zde uvedené přístrojové mechanismy může i tento konat jen malé natáčení.



Obrázek 2.1) Pákový mechanismus [2].

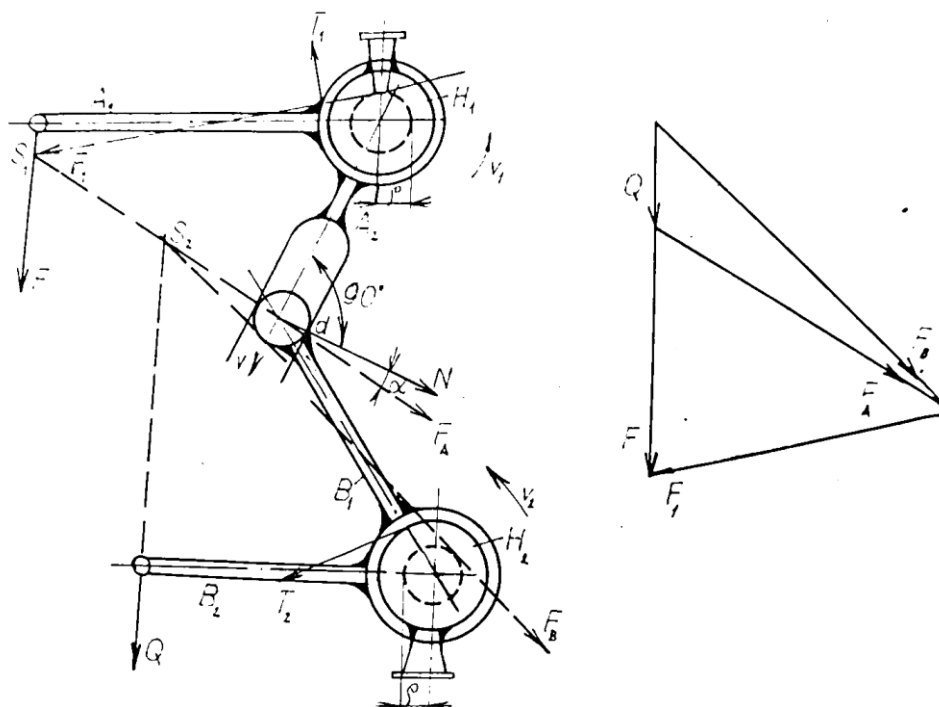
2.2.2 Kloubový mechanismu

Kloubový mechanismus patří mezi nejužívanější mechanismy ručních spínacích přístrojů. Sestává ze dvou pák, které jsou jedním koncem uloženy na pevných čepech a druhými dvěma konci spojenými táhlem. Hlavní předností tohoto mechanismu je jeho mrtvý bod.

Mrtvý bod kloubového mechanismu spočívá v tom, že části kloubového mechanismu mohou zaujmout takovou vzájemnou polohu, že žádné úsilí ze strany hnaného členu nemůže zapůsobit, že by celý mechanismus uvedl do pohybu, kdežto úsilí ze strany hnacího členu umožňuje pohyb snadno.

Této vlastnosti se při stavbě přístrojů s ručním ovládáním velmi často využívá. Hnaným členem je ten, který nese např. kontakty a na který působí nejen síla kontaktních pružin nebo jiného užitečného odporu, ale také elektromagnetické síly při zkratu, které by mohly jinak zavinit, že mechanismus se samovolně uvedl v pohyb a styk kontaktů by pominul.

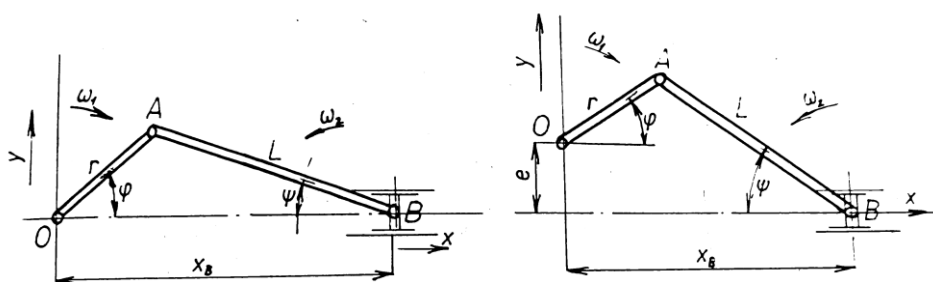
Jestliže však mechanismus spínače v zapnuté poloze je v mrtvém bodě, nebo za ním, nemůže k samovolnému pohybu kontaktů dojít ani při největších elektromagnetických silách, ani při mechanický otřesech, rázech, nebo jiných účincích. Styk kontaktů je tím zajištěn.



Obrázek 2.2) Kloubový mechanismus [2].

2.2.3 Klikový mechanismus

Ve stavbě přístrojů se často vyskytuje požadavek převést rotační pohyb na translační. Např. ovládací hřídele vypínače VN koná rotační pohyb v mezích 60° , tento pohyb je třeba převést na posuvný pohyb spínacího roubíku, který má konat požadovaný zdvih z.

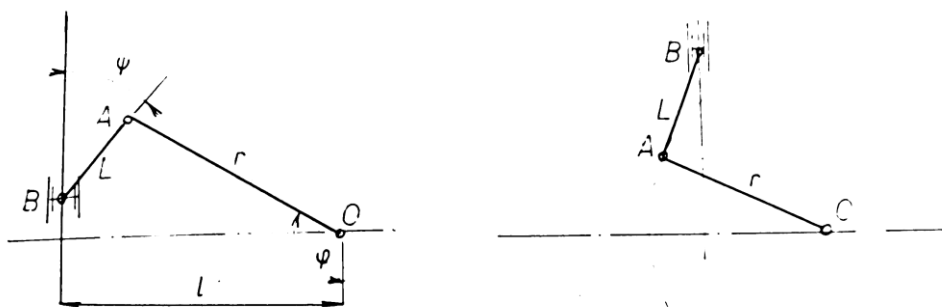


Obrázek 2.3) Mechanismus klikový [2].

2.2.4 Mechanismus vahadlový

Zvětšíme-li značně excentricitu e u klikového mechanismu, dostaneme tak nový mechanismus tzv. vahadlo s táhlem. Rozeznáváme dva hlavní případy tohoto mechanismu. Vahadlo s táhnoucím táhlem a vahadlo s tlačícím táhlem.

Rozdíl mezi oběma provedeními je hlavně v tom, že u způsobu s táhlem táhnoucím je bod A nad bodem B, vedení spínacího roubíku bývá jednoduché, kdežto u druhého provedení s tlačícím táhlem je bod A pod bodem B, vedení spínacího roubíku bývá dvojité a vykazuje pak menší stranové vůle. Přesto se více používá způsobu s táhlem táhnoucím.



Obrázek 2.4) Mechanismus vahadlový [2].

2.2.5 Různé druhy vahadlového mechanismu.

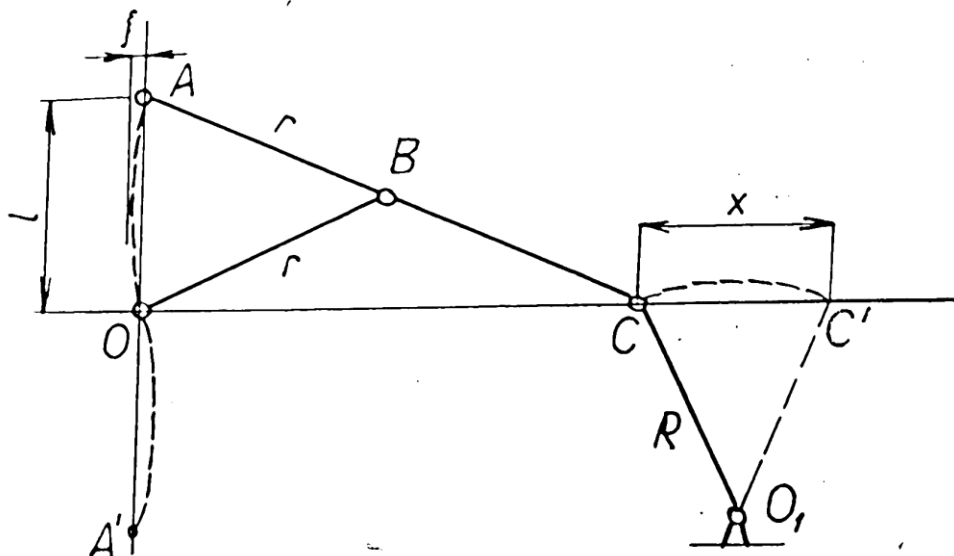
Vahadlo s táhlem je velmi jednoduchý způsob jak převést rotační pohyb v posuvný a dochází k použití v nejrůznějších obměnách. Jednou z těchto obměn je vahadlo bez táhla. V klíci je veden zářez neboli drážka. Hodí se pro malý úhel natažení a pro malé síly. Vahadlo s táhlem nemá ve skutečnosti mrtvý bod. Je-li zapotřebí mrtvého bodu, pak se k tomuto jednoduchému mechanismu přidávají ještě další členy, které mrtvý bod mají.

2.2.6 Přesný eliptický přímovod

Jiným mechanismem, který převádí rotační pohyb na posuvný, je eliptický přímovod. Proti předešlým mechanismům, které jsou v podstatě rovněž přímovody, se liší tím, že nevyžaduje kluzného členu – křížáku. Tento člen je u eliptického přímovodu nahrazen otočnou pákou. Přesný eliptický přímovod sestává z vahadla AB a z páky OB. Body C a D se pohybují při otáčení páky OB po osách x , y .

Podmínkou pro otáčení je, že $AB = BC$.

Obecně: pohybuje-li se úsečka AC tak, aby body A , C sledovaly osy x , y , pak libovolný bod B opisuje kuželosečku – elipsu.



Obrázek 2.5) Přesný eliptický přímovod [2].

2.2.7 Váčkové mechanismy

Ve stavbě elektrických přístrojů se setkávám s požadavkem, aby se rychlost a zrychlení hnaného mechanismu měnilo podle předem stanoveného zákona a aby se při tom tento člen na čas zastavoval, otáčel-li se hnací člen – hřídel – nepřetržitě a rovnoměrně. Tato úloha se nejvýhodněji řeší pomocí váčkového mechanismu.

Provedení váčkového mechanismu může být nejrůznější, pohyb může být rovinný, leží-li dráha bodů jeho členů v rovnoběžných rovinách, nebo může být prostorový, neleží-li dráhy bodů jeho členů v rovnoběžných rovinách. Pohyb hnaného nebo hnacího členu váčkového mechanismu může být posuvný, rotační nebo složený.

Základní člen mechanismu je váčka a zvedák. Váčka může kontakt pohyb rotační, zvedák posuvný nebo natáčivý. Jinak může také váčka konat pohyb posuvný a zvedák pohyb rovněž posuvný nebo natáčivý.

Zvedák může na váčku dosedat přímo, nebo kluznicí, nebo kladkou. Přímé dosedání vykazuje velké tření, kluznice je zmenšuje, nejmenší tření je pomocí kladky.

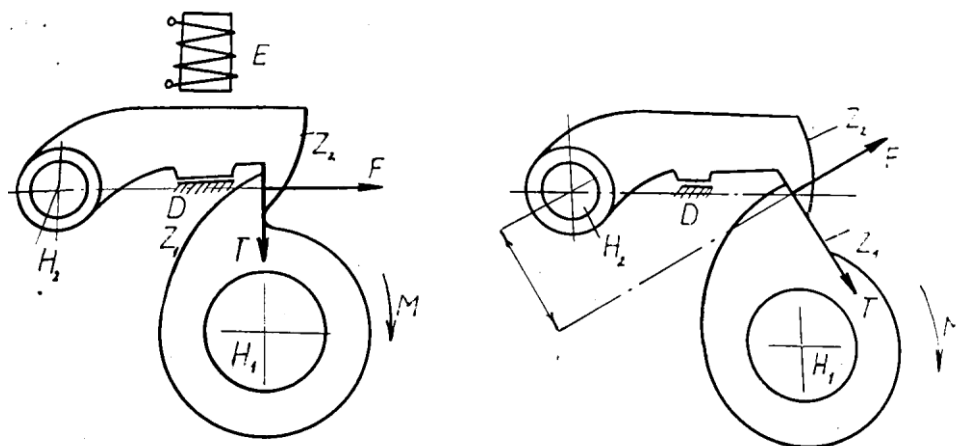
Vratný pohyb zvedáku k váčce se provádí nejčastěji přitlačováním zvedáku pružinou, výjimečně vlastní vahou zdvihaného členu. Některé mechanismy vyžadují, aby pohyb zdvihaného členu probíhal v obou směrech nuceně; je to např. tam, kdy spouštění zvedáku odpovídá vypínání kontaktů a nelze připustit, aby se kontakty svařily zkratovým proudem a pružina by pak nestačila je odtrhnout.

2.2.8 Západky

Ve stavbě přístrojů spínacích se velmi často používá západkových mechanismů.

Západkou zachycujeme síly napjatých pružin, které pak po uvolnění západky vykonají vypínací práci. Jinak se západek ve spojení s rohatkem používá k aretaci poloh např. kontrolérů, válcových spínačů apod. Uvolňování západek vypínačů se provádí buď ručně, nebo elektromagneticky.

V obr níže je naznačená západka, kterou uvolňuje elektromagnet. Na ovládací hřídeli H_1 je naklínovaná západka Z_1 ; proti ní je druhá západka Z_2 , uložená na hřídeli H_2 . Tato západka Z_2 má omezený pohyb dorazem D a uvolňuje ji elektromagnet 3 . Působí-li na hřídeli H_1 točivý moment M v naznačeném smyslu, vznikne na zubech západek síla F , která se západkou Z_2 přenáší na čep H_2 . Tvary zubů jsou provedeny tak, že při otáčení opačným směrem obě západky po sobě kloužou a v naznačené poloze zapadnou a zachytí sílu F .



Obrázek 2.6) Západka [2].

Hmota západky má být malá proti hmotě pohyblivých částí mechanismu přístroje. Zadržuje pohybový mechanismus např. vypínače v určité poloze a v případě potřeby jej lze uvolnit, napjatá pružina vykoná vypínací pochod. Na vhodné konstrukční úprave závisí mnohdy správné působení celého přístroje.

2.2.9 Rohatka

U některých druhů přístrojů, jako jsou válcové a vačkové spínače apod. je nutné zajišťovat hřídel v určitých, přesných polohách a to takových, ve kterých se dosáhne správného tlaku na kontaktech. Hřídel přístroje se opatřuje rohatkou tj. kotoučem s výřezy, do kterého zapadá západka, zpravidla opatřená kladkou. V krajních polohách přístroje jsou provedeny narážky, které nedovolují manipulovat za krajní polohy.

2.3 Shrnutí kapitoly

Kapitola shrnuje základní informace a druhy spouští a přibližuje filozofie mechanických částí jističů. Byly zde představeny principy funkcí kloubového mechanismu, klikového, vahadlového a eliptického.

3 SÍLY PŮSOBÍCÍ V MECHANISMU JISTIČŮ

Při práci přístroje působí na členy jejich mechanismů vnější síly, jako je síla strojního pohonu nebo pružiny motorového pohonného zařízení, tlakovzdušného pohonu atd. dále síla tíhová od jednotlivých částí, která zvětšuje tření v čepech a ložiskách, užité odpory mechanismu, setrvačné síly a pasivní odpory.

Práce hnací síly pohonu se považuje za kladnou, práce užitého odporu zátěže za zápornou.

Tíhová síla G působí v těžišti členů. Práce této síly je během celého pracovního cyklu zapnutí i vypnutí rovna nule, kdežto uvnitř cyklu v některém jeho bodě není nula.

Setrvačné síly. Vznikají při nerovnoměrném pohybu členů mechanismu. Při daném pohybu hlavního členu, který má známou velikost hmoty m a při známé poloze těžiště členů můžeme vždy vypočítat setrvačnou sílu tohoto členu mechanismu.

Vnější síly. Jejich průběh v závislosti na pohybu mechanismu je známý nebo se dá vypočítat řešením mechanismu. Např. je-li hnací síla vyvozena pružinou, jejíž charakteristiku známe, můžeme tuto závislost zavést do výpočtu. V následující kapitole jsou informace, které byly čerpány převážně z [2].

3.1 Setrvačné síly mechanismu

Vykonává-li některý člen mechanismu obecný pohyb – z části posuvný, z části rotační, dávají síly částic hmoty výslednou setrvačnou sílu, kterou lze obecně vyjádřit jako

$$F_i = -m \cdot a_s$$

Index i označuje setrvačnou sílu, tedy interní veličinu. Síla F_i působí v těžišti S daného členu.

Tím, že člen koná ještě také rotační pohyb, vzniká setrvačná čili doplňková dvojice sil, která je charakteristická momentem

$$M_i = -\varepsilon \cdot J_S$$

V těchto výrazech:

m hmotu členu

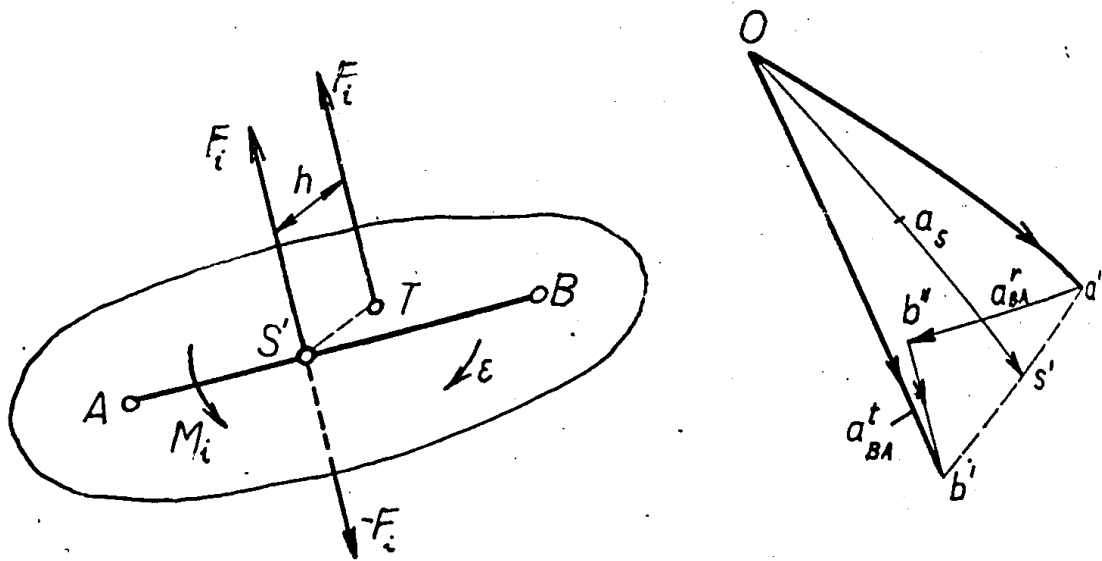
a_s zrychlení těžiště

ε úhlové zrychlení členu

J_S moment setrvačnosti hmoty členu k ose, procházející těžištěm S .

$$J_S = \int g^2 dm$$

Setrvačná síla F_i má opačný smysl než posuvné zrychlení těžiště a_s a setrvačná dvojice M_i má opačný smysl než úhlové zrychlení členů ε . K výpočtu setrvačných sil F_i a M_i je z kinematiky členu nutno stanovit a_s a ε .



Obrázek 3.1) Síly v tělese konající posuvný a rotační pohyb [2]

V obrázku výše je znázorněno těleso, které koná jednak posuvný pohyb ve směru síly F_i a zároveň rotační pohyb ve směru vyznačeném šipkou ϵ . V obrázku značí

Oa' zrychlení bodu B

Ob' zrychlení bodu A

Z těchto dvou zrychlení se stanoví zrychlení těžiště S, tj. zrychlení a_s . Koncový bod zrychlení a_s prochází bodem S' , pro který platí

$$\frac{b'' \cdot s'}{AS} = \frac{s' \cdot a'}{SB}$$

Abychom mohli stanovit úhlové zrychlení, musíme relativní zrychlení bodů A, B, tj. b'' a a' rozložit na složku normální a tangenciální

Složka normální

$$b'' \cdot b' = a_{BA}^n$$

A je rovnoběžná s BA. Složka tangenciální

$$b'' \cdot b' = a_{BA}^t$$

Pak úhlové zrychlení

$$\epsilon = \frac{a_{BA}^t}{L_{BA}}$$

L_{BA} značí vzdálenost bodu A od B.

Setrvačnou sílu F_i a setrvačnou dvojici M_i můžeme nahradit jedinou silou, která co do velikosti se rovná F_i , jestliže položíme tuto sílu, tak aby platilo:

$$F_i h = M_i$$

Koná-li člen pouze translační pohyb, je úhlové zrychlení $\epsilon=0$ a na člen působí pouze setrvačná síla F_i v jeho těžišti.

Otáčí-li se člen kolem stálé osy, která prochází jeho těžištěm, je posuvné zrychlení těžiště $a_s = 0$ a proto $F_i = 0$. Elementární setrvačné síly hmoty členu tvoří výslednou dvojici setrvačných sil o momentu

$$M_i = -2J_s$$

4 VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERA

V této práci se setkáváme s vysokorychlostní kamerou, pojďme si představit, o co se tedy jedná. Kapitola čerpá převážně z článku Vysokorychlostní kamera v akci [7].

4.1 Historie vysokorychlostní fotografie

Společnost filmových a televizních techniků (SMPTE - Society of Motion Pictures and Tele-vision Engineers) v roce 1948 definovala vysokorychlostní fotografii jako skupinu po sobě jdoucích snímků zachycených s rychlostí alespoň 128 snímků/s. Lidské oko je schopné zachytit přibližně 20-25 obrázků/s. Pokud tyto čísla porovnáme, zjistíme, že základní rychlost snímání nám umožní děj pozorovat s asi šestinásobným zpomalením. Současné kamery dokáží toto číslo mnohonásobit, jsou dostupné nejen pro profesionální účely, ale objevuje se čím dál větší počet levných kompaktních přístrojů dostupných pro laickou veřejnost.

Důležité milníky v historii vysokorychlostních kamer:

- 1980 – První vysokorychlostní kamera využívající VHS záznam (HSV-200)
- 1983 – První vysokorychlostní kamera specializována pro vojenské účely (FHS-200)
- 1985 – První vysokorychlostní kamera specializována pro využití ve vzduchu (HVRB 200)
- 1990 – První vysokorychlostní kamera využívající S-VHS záznam (HSV-1000)
- 1990 – První vysokorychlostní kamera využívající technologii CMOS (HSV-1000)
- 1994 – První barevná vysokorychlostní digitální kamera (Memrecam Ci)
- 1994 – První vysokorychlostní digitální kamera využívající CMOS technologii (Memrecam Ci)
- 1995 – První tříčipová vysokorychlostní digitální kamera (Memrecam C2S)
- 1997 – První vysokorychlostní kamerový systém schopný ukládat jak digitální záznam tak analogový na pásku S-VHS (Memrecam C3 a HSV-500 C3)
- 2003 – První jednočipová vysokorychlostní digitální kamera s HD rozlišením 720p využita v živém sportovním vysílání (Memrecam fx K3)
- 2005 – První tříčipová vysokorychlostní digitální kamera s full HD rozlišením 1080i využita současně jak pro vytváření zpomalených záznamů, tak pro živé vysílání během sportovních utkání (Memrecam Hi- Motion)

4.2 Parametry a princip záznamu

4.2.1 Obrazový senzor

Obrazový senzor je základ jakéhokoli záznamu obrazu. Hlavní a jedinou jeho funkcí je pře-vod světla do elektrických signálů. Využívá se k tomu dvou čipů CCD a CMOS.

4.2.2 CCD vs. CMOS

Oba senzory využívají fotocitlivé buňky umístěné na ploše čipu, které zaznamenají

proud fotonů a podle jeho velikosti určí jas obrazu. A oba čipy také využívají barevné filtry, sloužící k rozdělení obrazu na 3 základní barvy: červená, zelená a modrá. Pokud známe v každém do-statečně malém bodě jas zelené, červené a modré barvy jsme schopni zobrazit všechny barvy lidským okem viditelné. První rozdíl se objevuje při zpracování dat z čipu. CCD nemá v okolí buňky žádnou elektroniku a signály odchází postupně z jednotlivých buněk do řídicí elektro-niky. CMOS disponuje u každé buňky jednoduchým obvodem, který se stará o zesílení a přenos signálu do procesoru pro každou buňku zvlášť. I proto je světlocitlivá plocha jednotlivých buněk na CMOS menší než u CCD, ale na druhou stranu to umožňuje zmenšení balíčku obvodů, které musejí signál zpracovávat po odchodu ze snímače. CMOS technologie je tedy celkově méně náročná na prostor, ale i na odběr elektrické energie.

4.2.3 Rozlišení

Rozlišení se udává v pixelech a říká, kolik bodů dokáže kamera zaznamenat. Tím je pak určena kvalita a velikost obrazu, ale také velikost záznamu.

4.2.4 Clona

Clona je především mechanické zařízení, které svým uzavíráním reguluje množství světla procházejícího objektivem, a to od maximální propustnosti (a tedy) nejmenšího clonového čísla až po maximální zaškrcení (a tedy) minimální otvor. Velikost nastavené clony (otvoru v objektivu) má přímý vliv na jeho rozlišovací schopnost a tedy kvalitu, s jakou je objektiv schopen vykreslit snímáný obraz.

4.2.5 Ohnisková vzdálenost

Ohniskovou vzdáleností se rozumí pomyslná vzdálenost za objektivem, ve které objektiv vy-kreslí ostrý obraz, nacházející se teoreticky v nekonečné vzdálenosti před objektivem. Obecně platí pravidlo, že čím kratší ohnisková vzdálenost, tím větší úhel záběru objektivu a naopak.

4.2.6 Rychlost závěrky

Rychlost závěrky, nebo přesněji expoziční čas, vyjadřuje dobu, po kterou musí být vystaven snímač dopadu světla, aby byla dosažena správná expozice. U vysokorychlostních kamer tato hodnota markantně ovlivňuje maximální počet snímků/s. Aby byl záznam vysokorychlostní, musí být rychlost závěrky menší než 7,8 ms. Průměrné závěrky vysokorychlostních kamer jsou nuceny „mrkat“ rychlostí 100 μ s a méně, za tak krátkou dobu nestihnou pochyťt dostatek světla, a proto je nezbytné dodatečné osvětlení snímáného předmětu.

4.2.7 Počet snímků za sekundu

Počet snímků za sekundu určuje, kolik snímků zvládne kamera během jedné sekundy zaznamenat a předurčuje maximální výsledné zpomalení zkoumaného děje.

4.2.8 Barevná hloubka

U drtivé většiny současných kamer každý senzor zaznamená barvu v 8 bitech, kamera má pro každou barvu jeden senzor a výsledná hloubka je 24 bitů. Kamera je tedy schopna zaznamenat $2^{24} = 16\,777\,216$ barev.

4.2.9 Princip záznamu

Cesta skrz kameru se dá rozdělit do několika částí. V první dochází k transformaci obrazu pomocí čoček a zrcadel, následuje separace barev pomocí filtrů. Dále dochází ke generaci elektrických signálů pro jednotlivé body a nakonec se ze signálů vytvoří digitální data, která se ukládají do rychlé mezipaměti. Následně se z mezipaměti uloží na SD kartu hotový videozáznam, který je možné dále upravovat v grafickém softwaru.

4.3 Stručný popis rychlokamery FASTCAM SA-X2

Photron v březnu roku 2013 uvedl na trh kameru FASTCAM SA-X2. Kamera umožňuje zaznamenávat až rychlostí 13 500 snímků za sekund v megapixelovém rozlišení a až 1 000 000 snímků za sekundu s rozlišením redukovaným 128×8 pixelů.

4.3.1 Parametry

Počet snímků za sekundu (fps)	Maximální rozlišení		Délka záznamu (12-BIT)							
			Čas (s)				Počet snímků			
	Horizontální	Verticální	8GB	16GB	32GB	64GB	8GB	16GB	32GB	64GB
Model 480K										
1000	1024	1024	5.45	10.91	21.83	43.68	5455	10 916	21 839	43 684
2000	1024	1024	2.72	5.45	10.91	21.84	5455	10 916	21 839	43 684
5000	1024	1024	1.09	2.18	4.36	8.73	5455	10 916	21 839	43 684
10 000	1024	1024	0.54	1.09	2.18	4.36	5455	10 916	21 839	43 684
12 500	1024	1024	0.43	0.87	1.74	3.49	5455	10 916	21 839	43 684
13 500	1024	1000	0.41	0.82	1.65	3.31	5586	11 178	22 363	44 733
18 000	896	848	0.41	0.83	1.67	3.34	7529	15 066	30 140	60 287
22 500	768	768	0.43	0.86	1.72	3.45	9699	19 408	38 827	77 663
40 000	640	468	0.45	0.91	1.83	3.66	18 320	36 656	73 327	146 670
45 000	512	512	0.48	0.97	1.94	3.88	21 827	43 672	87 363	174 744
50 000	640	384	0.46	0.93	1.86	3.72	23 282	46 584	93 187	186 394
75 000	512	296	0.50	1.00	2.01	4.03	37 756	75 543	151 116	302 262
100 000	384	264	0.56	1.12	2.25	4.51	56 445	112 934	225 912	451 868
200 000	256	152	0.73	1.47	2.94	5.88	147 058	294 227	588 564	1 177 238
400 000	256	48	1.16	2.32	4.65	9.31	465 690	931 724	1 863 791	3 727 926
480 000	384	24	1.29	2.58	5.17	10.35	62 091	1 242 299	2 485 056	4 970 569
Model 1000K										
720 000	256	8	3.88	7.76	15.53	31.06	2 794 152	5 590 355	11 182,760	22 367 571
900 000	128	8	6.20	12.42	24.85	49.70	5 588 307	11 180 712	22 365 523	44 735 144
1 000 000	128	8	5.58	11.18	22.36	44.73	5 588 307	11 180 712	22 365 523	44 735 144

Tabulka 4.1) Specifikace kamery FASTCAM SA-XA pro různé počty snímků za sekundu [6].

Senzor	20 µm na pixel, 12-bit ADC (Bayer system color, jeden senzor)	Zpoždění spouště	Možnost naprogramovat zpoždění na vybrané vstupní nebo výstupní spouště s rozlišení 100 ns
Závěrka	Rychlost závěrky od 1 ms do 1 µs nezávisle na FPS	Časování	Interní nastavení nebo pomocí externího zdroje
Objektivy	Vyměnitelné objektivy Nikon s hlavicí typu F (kompatibilní také s G), typ objektivů F vyžaduje adaptér.	Uzamčení fáze	Umožňuje kameře sesynchronizovat se přesně na externí zdroje jako např. IRIG/GPS.
Dynamická hloubka	Nastavitelná ve 20 krocích (0 - 95% ve 5% krocích) pro zabránění před přexponováním.	Značky k událostem	Deset uživatelsky nastavitelných značek k událostem v posloupnosti snímků. Okamžitě dostupné v softwaru.
Paměť	8 GB (standard: 5455 snímků v maximálním rozlišení. 16 GB (volitelné příslušenství: 10 916 snímků v maximálním rozlišení. 32 GB (volitelné příslušenství: 21 839 snímků v maximálním rozlišení. 64 GB (volitelné příslušenství: 43 684 snímků v maximálním rozlišení.	Spouštěcí módy	Start, End, Center, Manual, Random, Random Reset, Random Center, Random Manual, Image Trigger
Bitová hloubka	Možnost volit mezi 8 a 12 bitů na pixel	Výstupní formáty obrázků	JPEG, AVI, TIFF, BMP, RAW, RAWW, MRAW PNG, MOV a FTIF. Obrázky mohou být uloženy s nebo bez dat a informací v komentářích.
Formát videa	Živě i záznam ve 2 HD-SDI nebo Dual RS-170 (NTSC /PAL) výstupních formátech.	Zobrazování dat na displeji	Počet snímků za sekundu, rychlost závěrky, nastavení spouště, datum, čas, status (přehrávání, nahrávání), počet snímků, rozlišení a časová značka IRIG.
Dodatečná paměť	Dva sloty na SD kartu	Rozdělovači	Až 64 segmentů pro zachycení více snímku do paměti kamery.
Ovládání kamery	Dálkové ovládání za pomoci dvou Gigabitových ethernetových kabelů nebo volitelné příslušenství – ovladač do ruky s LCD monitorem.	Sběr dat	Podporuje Photron a National Instruments™ DAQ
Uživatelské tlačítka	Uživatel může nadefinovat až čtyři funkce tlačítkům poblíž zadního panelu.	Provozní teplota	0 – 40°C
Mód při nedostatku světla	„Low light mode“ nastaví počet snímků za sekundu a rychlost uzávěrky na maximum, přičemž umožňuje uživateli nastavit další parametry.	Montáž na stativ	1 x 1/4 - 20 UNC, 1 x 3/8 - 16 UNC, 6 x M5
Spouštění záznamu	Výběr na kladnou nebo zápornou hranu napětí TTL 5 Vp-p nebo na spínač	Rozměry	177.7 mm (7.0")H×160mm (6.3")W×350mm (13.78")D
		Hmotnost	9.9 kg (21.3 lbs)
		Napájení	100V-240V AC 50-60Hz DC 18-36 VDC, 210VA

Tabulka 4.2) Specifikace vysokorychlostní kamery Photron SA-X2 [6].

4.4 Využití

Automobilová technika

Vysokorychlostní kamera je schopná zachytit detaily nárazu a poskytnout pohled do seberychnější události, která nastane při dopravní nehodě. Může tak být například upraven interiér vozidla, mohou být navrženy airbagy a spousta dalších detailů, jež napomáhají k větší bezpečnosti cestujících.

Balistika

Ve vojenském průmyslu se pracuje výhradně s předměty produkujícími vysokorychlostní děje, proto i zde má vysokorychlostní kamera své nepostradatelné využití – umožňuje průzkum balistických střel od vystřelení z hlavně přes všechny fáze letu až k proniknutí do cílového objektu.

Biomechanika

Zkoumáním pohybů částí těla při různé fyzické aktivitě je možné dosáhnout v případě vrcholných sportovců k naučení lepších návyků, které tělo tak nezatěžují a které umožní sportovcům podávat vyšší výkon.

Spalování

Hoření je jev, který bývá zpravidla velmi rychlý, a obyčejné kamery jej nedokážou zachytit v dostatečně průkazném záznamu. Pomocí vysokorychlostní kamery je však možné zaznamenat zážehové děje například v motorech, pecích atd.

Výbuchy

Uplatnění vysokorychlostních záznamů výbuchů je především ve zbrojním průmyslu. Případně při vývoji bezpečnostních materiálů odolných na výbuchy je vhodné celý průběh exploze zaznamenat s dostatečně velkým počtem snímků za sekundu.

Dynamika tekutin

Typickým příkladem, kdy se dá uplatnit vysokorychlostní záznamy pro dynamiku tekutin, může být jakýkoliv systém vstřikování nebo nanášení tekutého povlaku na materiál.

Průmysl

Účelem dnešních automatizovaných výrobních linek je maximální výkon a k tomu pomáhá odstranění jakýchkoliv prodlev nebo zefektivnění koordinace jednotlivých částí linek. Toho by nebylo možné bez detailního rozboru ve zpomaleném záznamu poskytnutém vysokorychlostní kamerou. Využit v průmyslu je mnoho, například obrábění, řezání, stříhání, ohýbání materiálů.

Chemické děje

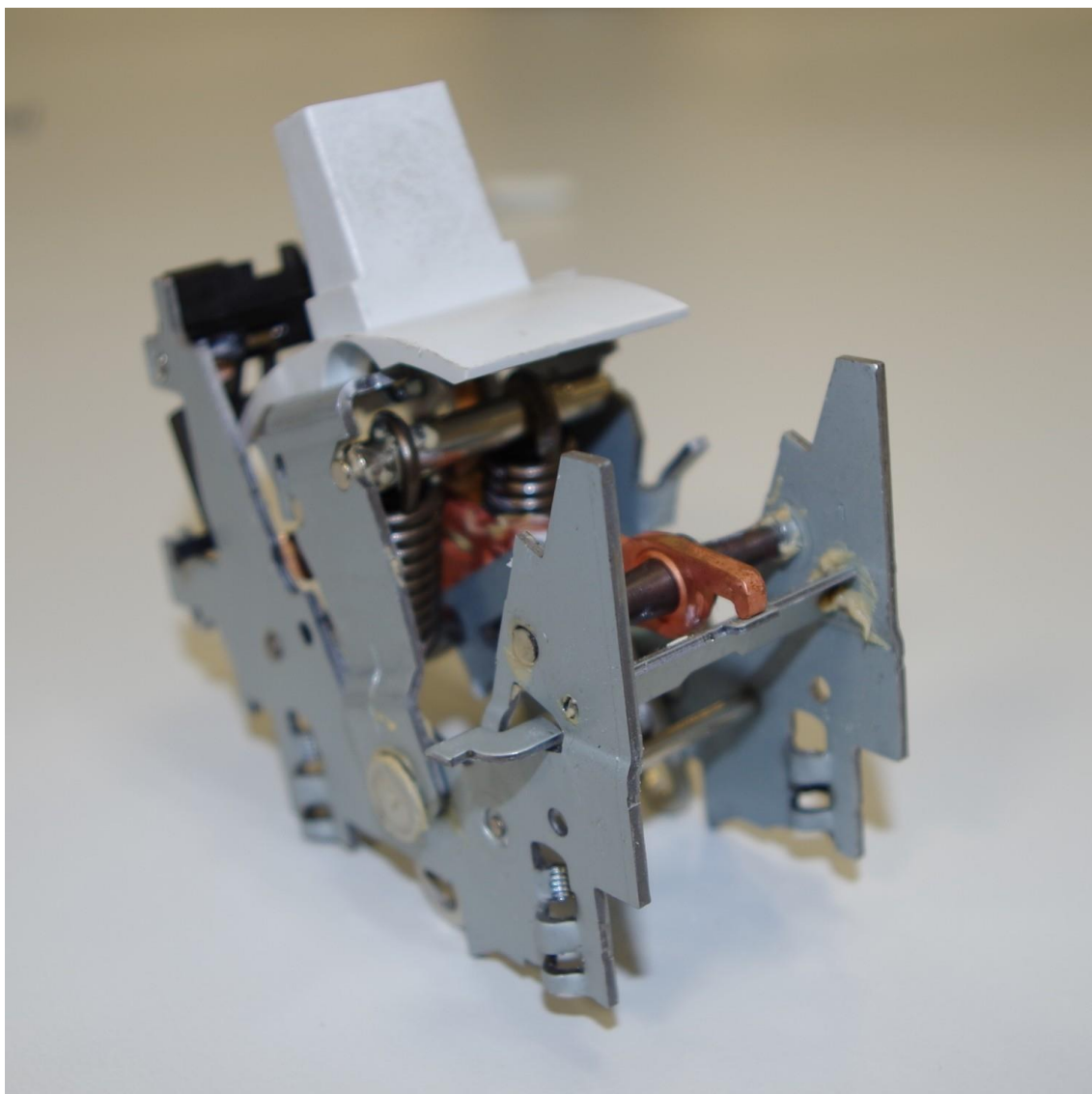
V laboratořích probíhá pozorování nejrozumnějších chemických reakcí. Před vynálezem vysoko-rychlostní kamery bylo u rychlých dějů možné pozorovat látky pouze před reakcí a po reakci. S vysokorychlostní kamerou se vědcům otevírá nový rozměr a tím je zkoumání látek během rychlých reakcí.

5 VIDEO

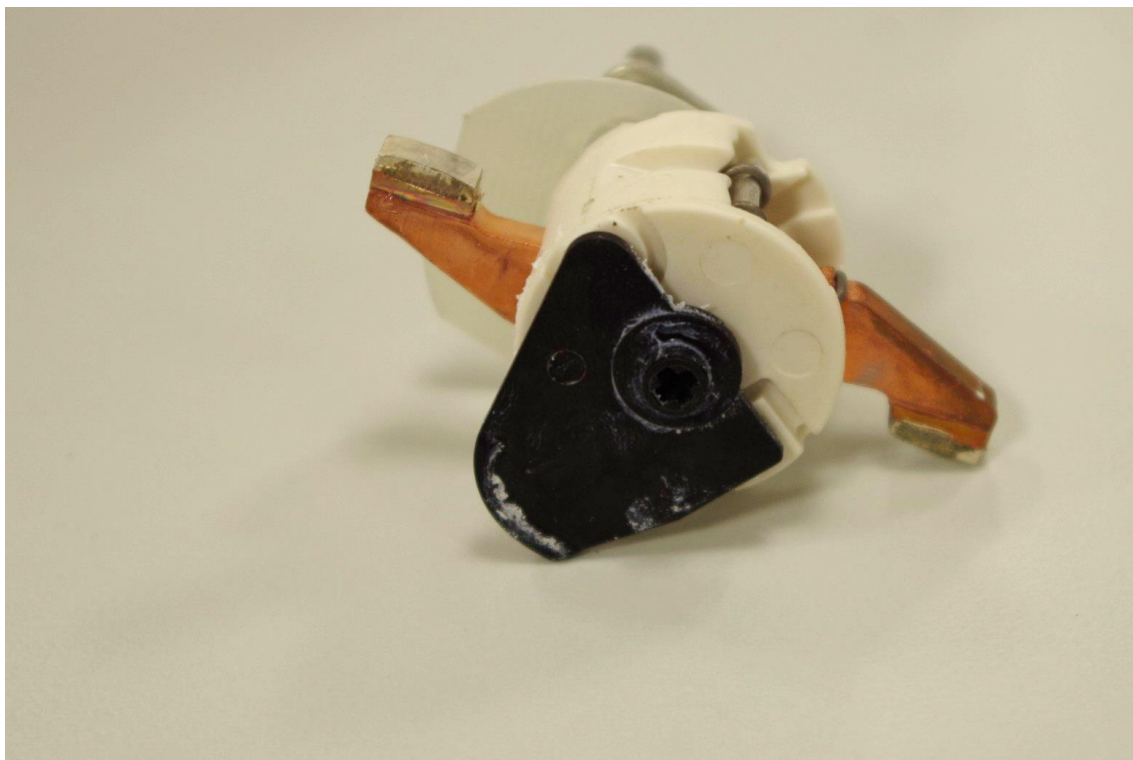
Analýza reálného kusu jističe probíhala následovně. Nejprve byl vybrán jistič NN, na kterém bude prováděn pokus. Volba padla na jistič EATON NZMB2-A125 - 3 pólový jistič se jmenovitým proudem 125 A, neboť na něm probíhala tepelná analýza v rámci BP.

5.1 Rozložení, vyfrézování a složení jističe

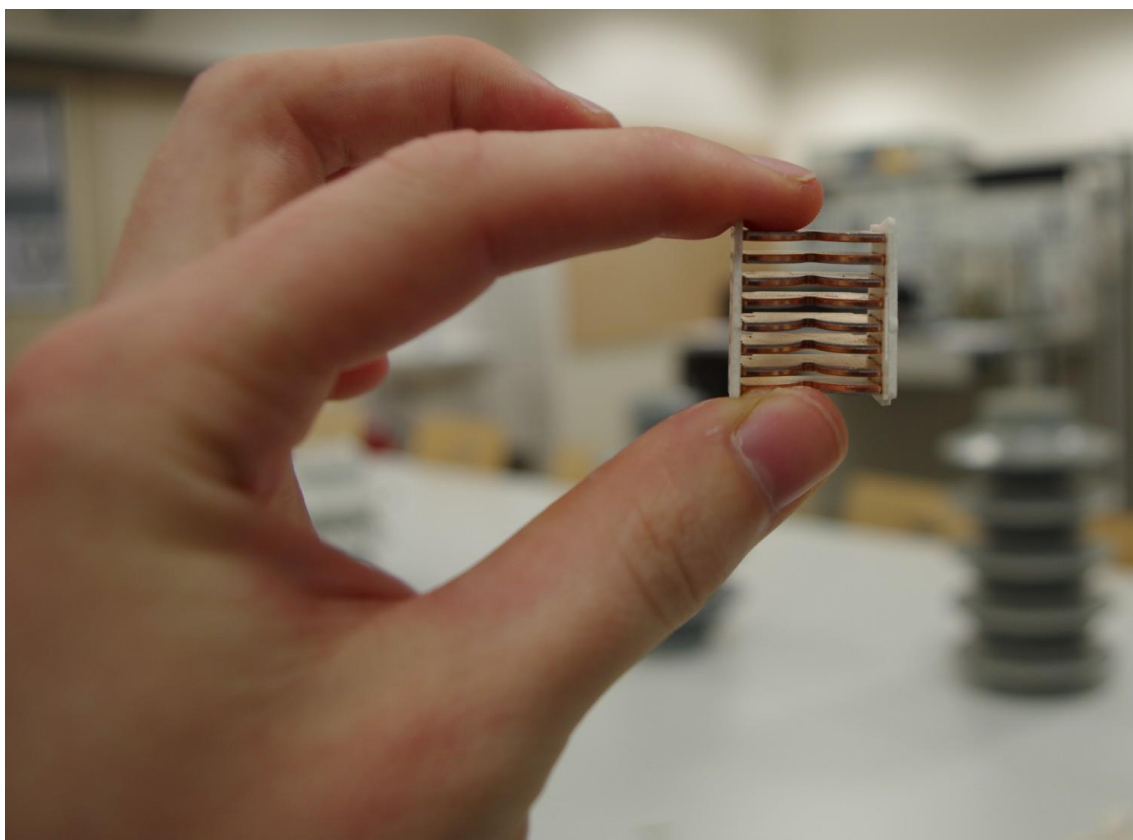
Ten byl následně rozebrán téměř do posledního šroubku, vyfrézován technikem UVEE tak, aby byl odhalený jeden spouštěcí mechanismus jednoho pólu, a opět složen dohromady.



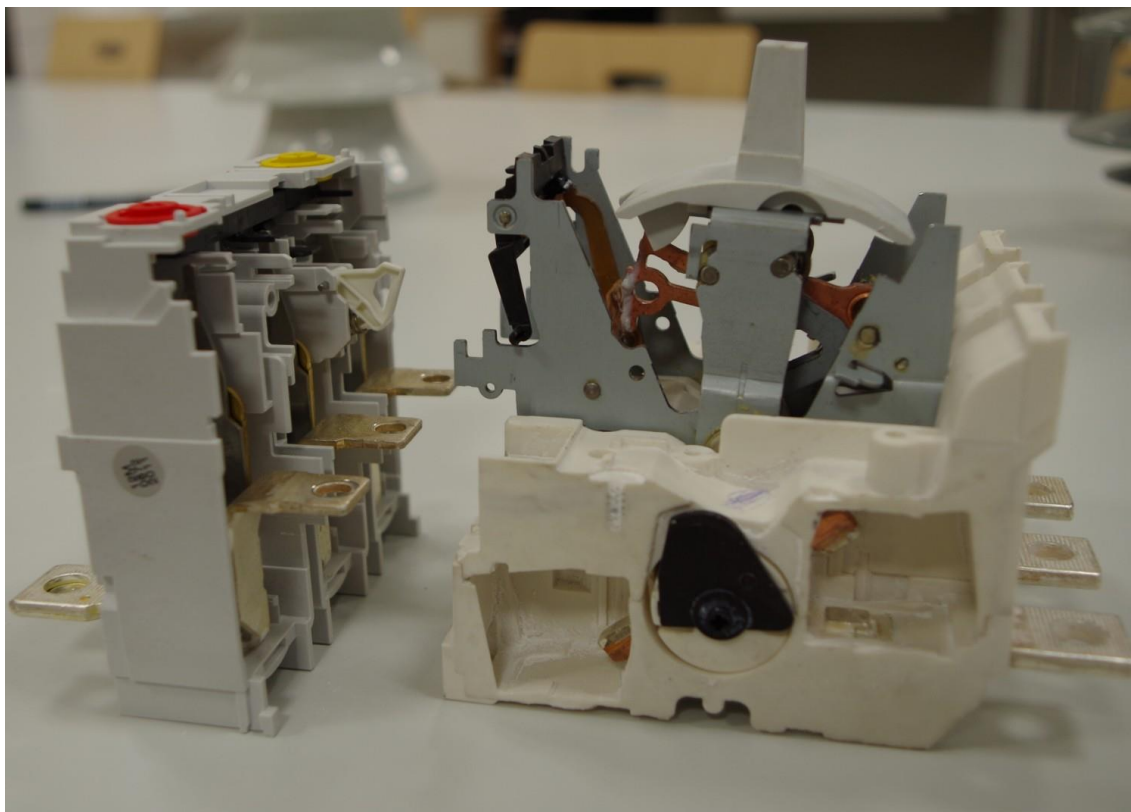
Obrázek 5.1) Dominantní částí jističe je vypínač s dvěma pružinami, které silově zajišťují rozpojování obvodu.



Obrázek 5.2) 1 pól rotoaktivní spouště.



Obrázek 5.3) Zhášecí komora elektrického oblouku.



Obrázek 5.4) Jistič byl poté opět složen.

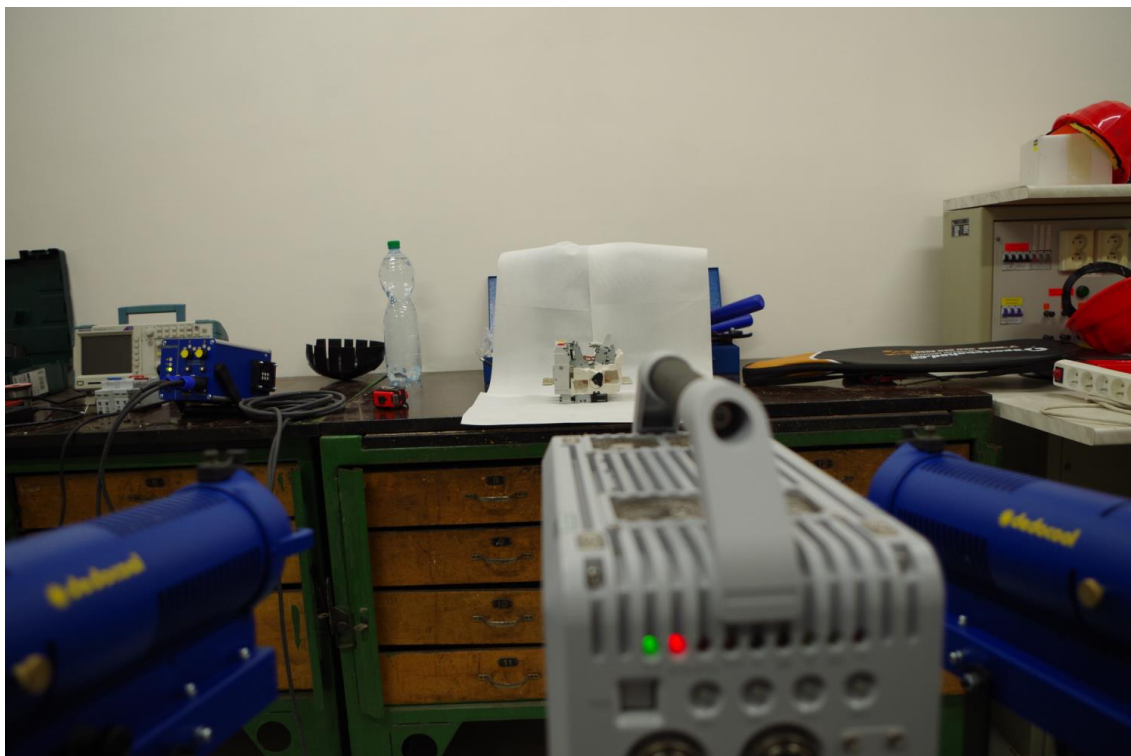
5.2 Příprava na záznam vysokorychlostní kamerou

Přístroj byl následně přemístěn do laboratoře, stačilo jen zapojit a nastavit kameru, nasvítit a mohlo se točit. Ovládání kamery je intuitivní a celé probíhá přes PC. Jediné dvě věci, které nejdou na PC udělat, jsou nastavení clony a zostření – neboť k tomu je nutné fyzicky otáčet obručemi na kameře.

Za jistič bylo umístěno bílé pozadí, aby nebyly vidět okolní předměty.

Kamera vytažena z kufru, umístěna na robustní stativ, nasazen střední objektiv se 100mm ohniskovou vzdáleností, zaostřeno, nastavena clona a v SW na počítači počet snímků za sekundu. Poté software dopočítal expozici a bylo zjištěno, že při 50 000 snímků za sekundu je záznam příliš tmavý, neboť objektiv „mrká“ rychlostí 20 μ s a nestihne zaznamenat tolik světla. Proto byly rozestaveny kolem kamery ještě 2 další zdroje světla v našem případě halogeny.

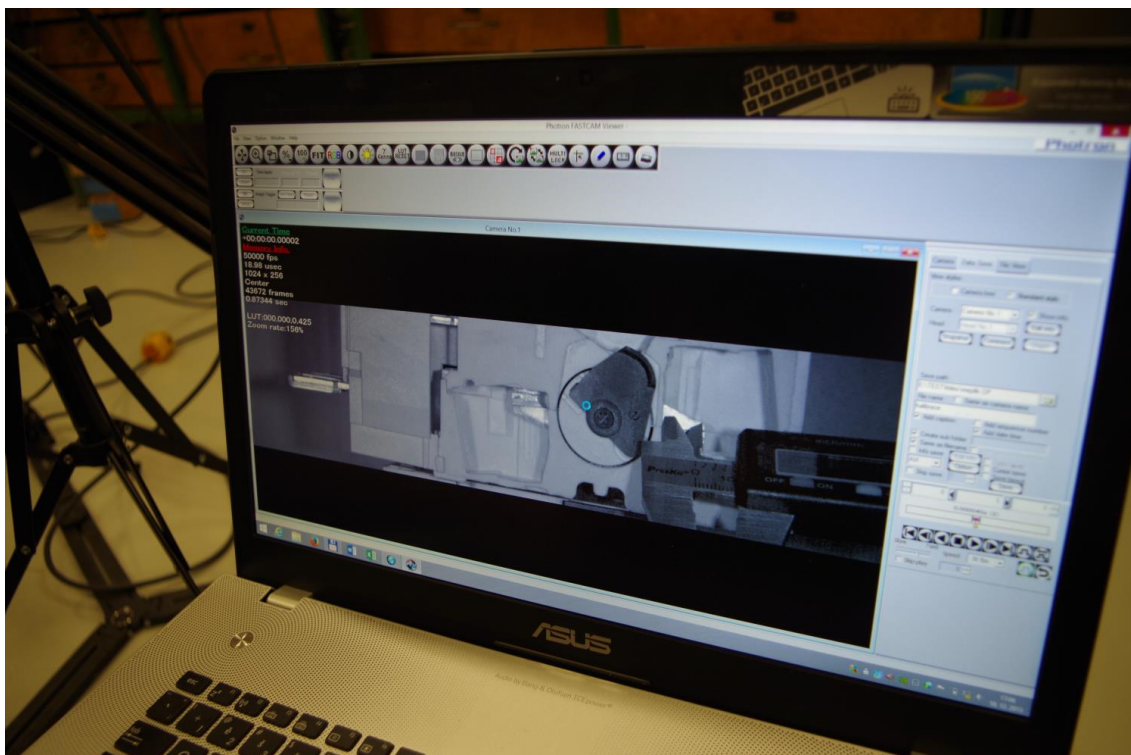
Záznam byl točen ve dvou variantách – 10 000 a 50 000 snímků za sekundu. Při 10 000 dokáže kamera zaznamenat v plném megapixelovém rozlišení, nicméně 50 000 snímků je ohromný datový tok, který by při plném rozlišení nezvládala elektronika kamery zaznamenat. Dochází tedy k redukci rozlišení. Dle: Tabulka 4.1) Specifikace kamery FASTCAM SA-XA pro různé počty snímků za sekundu [6]. – je patrné, že při záznamu 50 000 snímků za sekundu je rozlišení redukováno na 640×384 pixelů. Nicméně kameře je jedno, které z pixelů budou zaznamenány, proto bylo v našem případě zvoleno 1280×192 pixelů. Pohyb rotoaktivní spouště je pak vidět celý.



Obrázek 5.5) Rozestavení zkoumaného vzorku, videokamery a halogenových svítidel po stranách.



Obrázek 5.6) Pracoviště z druhé strany.



Obrázek 5.7) Pro další výpočty bylo potřeba znát rozměr pixelu v mm. Toho bylo docíleno za použití posuvného měřítka.

5.3 Zpracování záznamů

Z kamery byly vyexportovány celkem 3 videozáznamy a jedna fotka. Videozáznamy byly následující:

- 1) Vypnutí jističe při 50 000 snímcích za sekundu
- 2) Zapnutí jističe při 50 000 snímcích za sekundu
- 3) Vypnutí jističe při 10 000 snímcích za sekundu a plném rozlišení

Fotka slouží pro kalibraci vzdáleností, neboť na ní je vidět předem nastavená hodnota posuvného měřítka. Je tedy možné snadno dopočítat rozměr pixelu v mm.

Pro zpracování bylo třeba použít software výrobce ImageJ se speciálním pluginem určeným pro trasování (Manual_Tracking.class). Pomocí programu se pak šlo snímek po snímku a zaznamenávaly se souřadnice zvoleného bodu – v tomto případě nejvzdálenější část kontaktu od středu otáčení spouště. Data se pak zpracovala a pomocí jednoduchých logických úvah převedla z pixelů na milimetry, vypočítala se rychlost a zrychlení.

Tabulka 5.1) Naměřené a vypočtené hodnoty kontaktu

n	FA	FR	t_{ms} (ms)	XA (px)	XS (mm)	YA (px)	YS (px)	SY (px)	α_R (rad)	α_S (°)	S_{px} (px)	S_{mm} (mm)	v_m (m/s)	a (m/s ²)	v_r (rad)
1	73	0	0.00	745	26.31	-134	-2.94	0	0.00	0	0	0	3.07	12.78	0.12
2	85	12	0.24	745	26.31	-130	-2.21	4	0.03	2	4	0.74	3.79	11.16	0.14
3	102	29	0.58	745	26.31	-123	-0.92	11	0.08	4	11	2.03	6.17	20.58	0.23
4	117	44	0.88	745	26.31	-113	0.92	21	0.15	8	21	3.88	7.20	27.69	0.27
5	130	57	1.14	745	26.31	-103	2.76	31	0.22	13	31	5.75	6.66	14.47	0.25
6	153	80	1.60	742	25.76	-87	5.70	47	0.33	19	48	8.81	7.44	13.78	0.28
7	180	107	2.14	736	24.66	-67	9.38	67	0.49	28	70	12.83	9.22	23.06	0.35
8	200	127	2.54	727	23.00	-50	12.51	84	0.63	36	90	16.52	8.11	31.21	0.31
9	213	140	2.80	723	22.26	-41	14.17	93	0.71	41	101	18.63	-7.11	-35.53	-0.27
10	223	150	3.00	727	23.00	-47	13.06	87	0.65	37	94	17.21	-2.65	-10.19	-0.10
11	236	163	3.26	729	23.37	-50	12.51	84	0.63	36	90	16.52	-5.15	-19.82	-0.20
12	249	176	3.52	732	23.92	-56	11.41	78	0.58	33	83	15.18	-1.82	-7.58	-0.07
13	261	188	3.76	734	24.29	-58	11.04	76	0.56	32	80	14.74	-2.69	-11.23	-0.10
14	273	200	4.00	735	24.47	-61	10.49	73	0.54	31	77	14.10	0.98	2.22	0.04
15	295	222	4.44	733	24.10	-59	10.86	75	0.55	32	79	14.53	0.57	1.50	0.02
16	314	241	4.82	734	24.29	-58	11.04	76	0.56	32	80	14.74	2.28	3.94	0.09
17	343	270	5.40	731	23.74	-52	12.14	82	0.61	35	87	16.07	1.48	3.21	0.06
18	366	293	5.86	727	23.00	-49	12.70	85	0.64	36	91	16.75	0.00	0.00	0.00

n číslo měření – data ze softwaru ImageJ

FA absolutní číslo snímku – data ze softwaru ImageJ

FR relativní číslo snímku (od začátku děje)

$$FR = FA - FA_0 = 73 - 73 = 0$$

t_{ms} čas od začátku děje – při počtu snímků 50 000 je pak vzorec následující

$$t_{ms} = \frac{FR}{50} = \frac{0}{50} = 0 \text{ ms}$$

XA absolutní souřadnice x v pixelech – data ze softwaru ImageJ

XS poloha x vztažená ke středu rotoaktivní spouště v milimetrech. Střed má souřadnici x 602 px – odečteno ze softwaru ImageJ a jeden pixel má rozměr 0,184 mm – odečteno na základě kalibračního snímku ze softwaru ImageJ

$$XS = (XA - 602) * 0,184 = 26,31 \text{ mm}$$

YA absolutní souřadnice y v pixelech – data ze softwaru ImageJ

YS poloha y vztažená ke středu rotoaktivní spouště v milimetrech. Střed má souřadnici y -118 px – odečteno ze softwaru ImageJ a jeden pixel má rozměr 0,184 mm – odečteno na základě kalibračního snímku ze softwaru ImageJ

$$YS = (YA + 118) * 0,184 = -2,94 \text{ mm}$$

SY vzdálenost, kterou absolvovala spoušť v ose Y

$$SY = YA - YA_0 = -134 + 134 = 0 \text{ px}$$

α_r úhel, který opíše spoušť od počátku v radiánech – R je poloměr rotoaktivní spouště odečtený ze softwaru ImageJ v pixelech. Vycházelo se z jednotkové kružnice.

$$\alpha_r = \arcsin \frac{SY}{R} = \arcsin \frac{0}{143} = 0 \text{ rad}$$

α_s úhel, který opíše spoušť od počátku ve stupních

$$\alpha_s = \frac{\alpha_r}{\pi} * 180 = \frac{0}{\pi} * 180 = 0^\circ$$

s_{px} dráha, kterou musí urazit nejvzdálenější konec kontaktu, aby se dostal do úhlu α_s v px

$$s_{px} = \alpha_s * 2\pi * \frac{R}{360} = \alpha_s * 2\pi * \frac{R}{360} = 0 * 2\pi * \frac{143}{360} = 0 \text{ px}$$

s_{mm} dráha, kterou musí urazit nejvzdálenější konec kontaktu, aby se dostal do úhlu α_s v mm

$$s_{mm} = s_{px} * 184 = 0 * 0,184 = 0 \text{ mm}$$

v_m okamžitá rychlost v metrech za sekundu

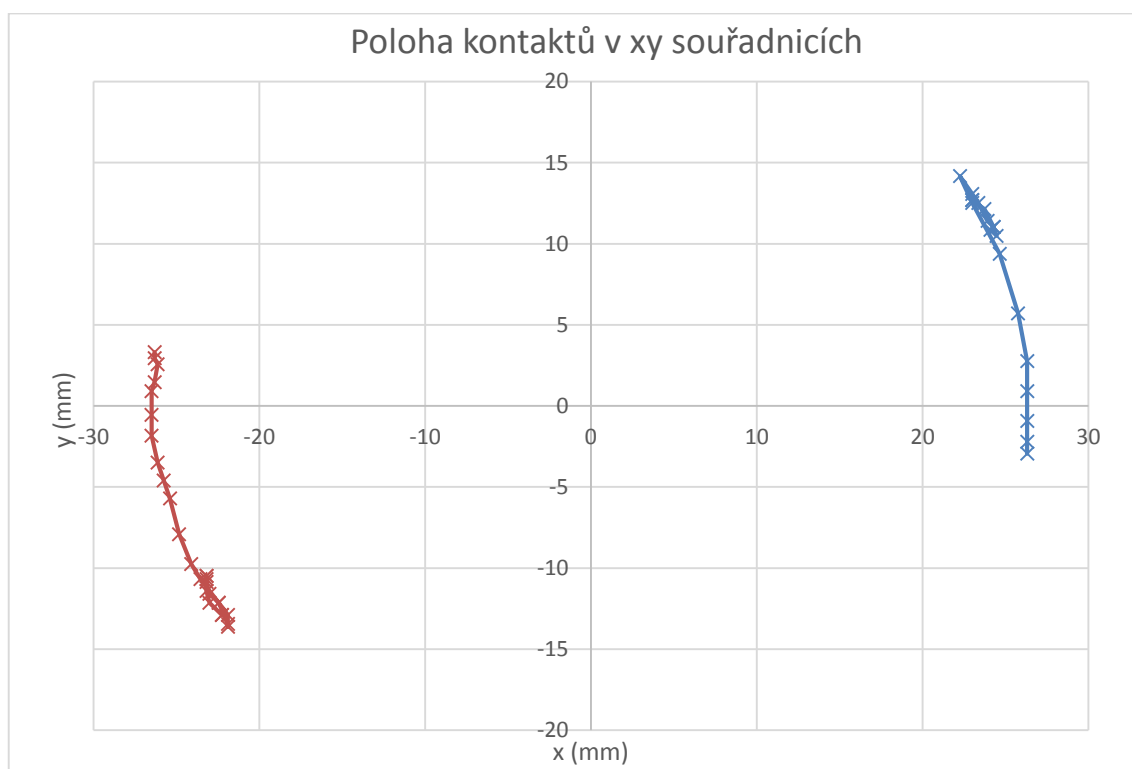
$$v_m = \frac{s_{mm2} - s_{mm1}}{t_{ms2} - t_{ms1}} = \frac{0,74 - 0}{0,24 - 0} = 3,07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

a_m okamžitá zrychlení v metrech za kvadrát sekundy

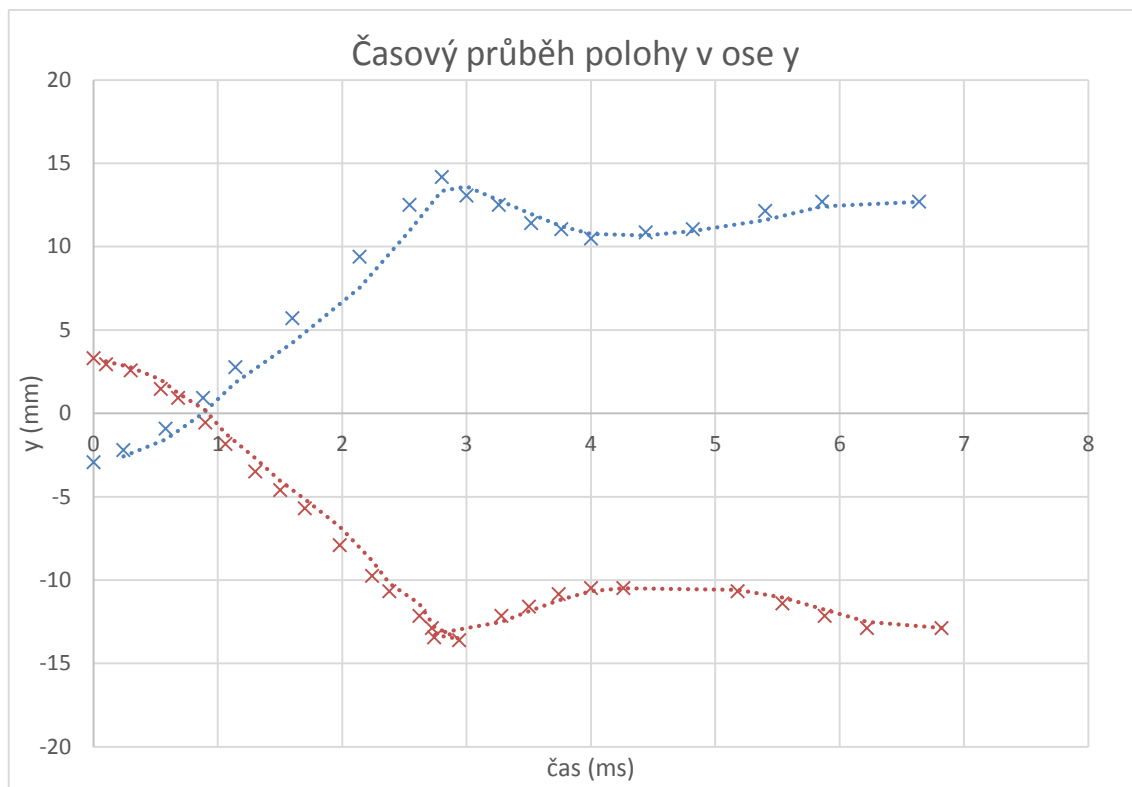
$$a_m = \frac{s_{mm2} - s_{mm1}}{(t_{ms2} - t_{ms1})^2} = \frac{0,74 - 0}{(0,24 - 0)^2} = 12,78 \text{ m.s}^{-2}$$

v_r okamžitá rychlost v radianech za sekundu

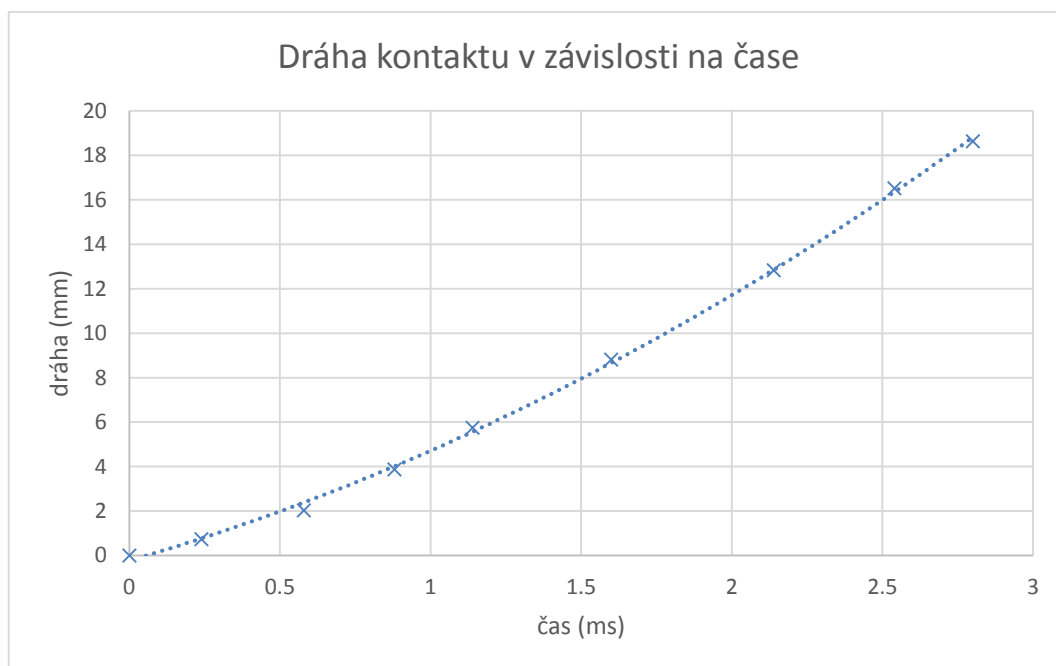
$$v_r = \frac{\alpha_{r2} - \alpha_{r1}}{t_{ms2} - t_{ms1}} = \frac{0,03 - 0}{0,24 - 0} = 0,12 \text{ rad.s}^{-1}$$



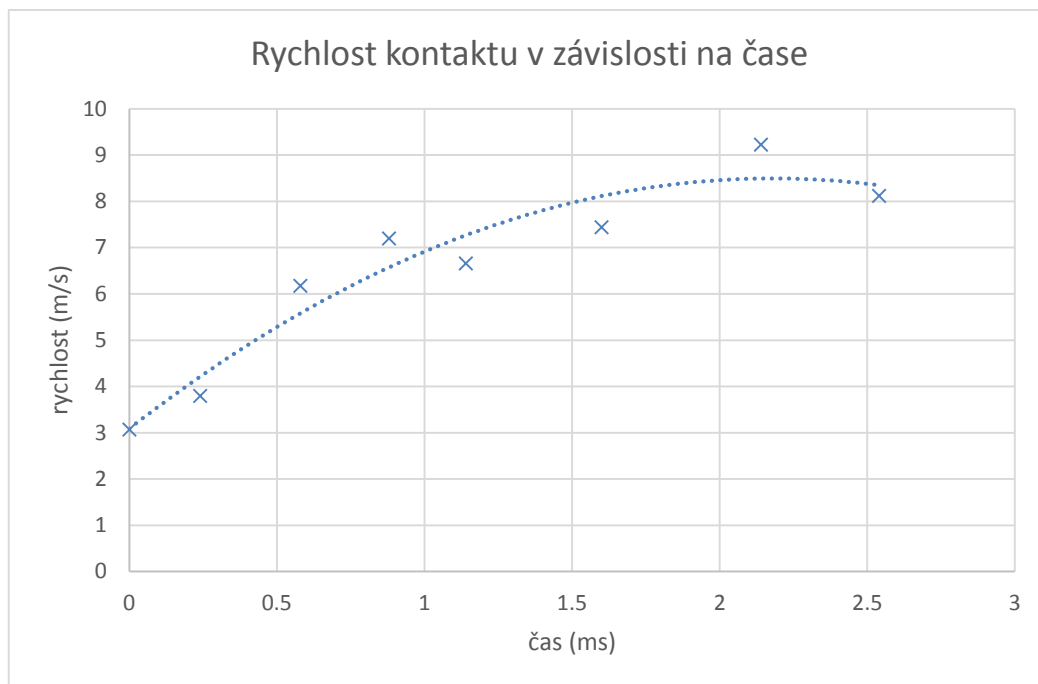
Graf 5.1) Poloha kontaktů v xy souřadnicích



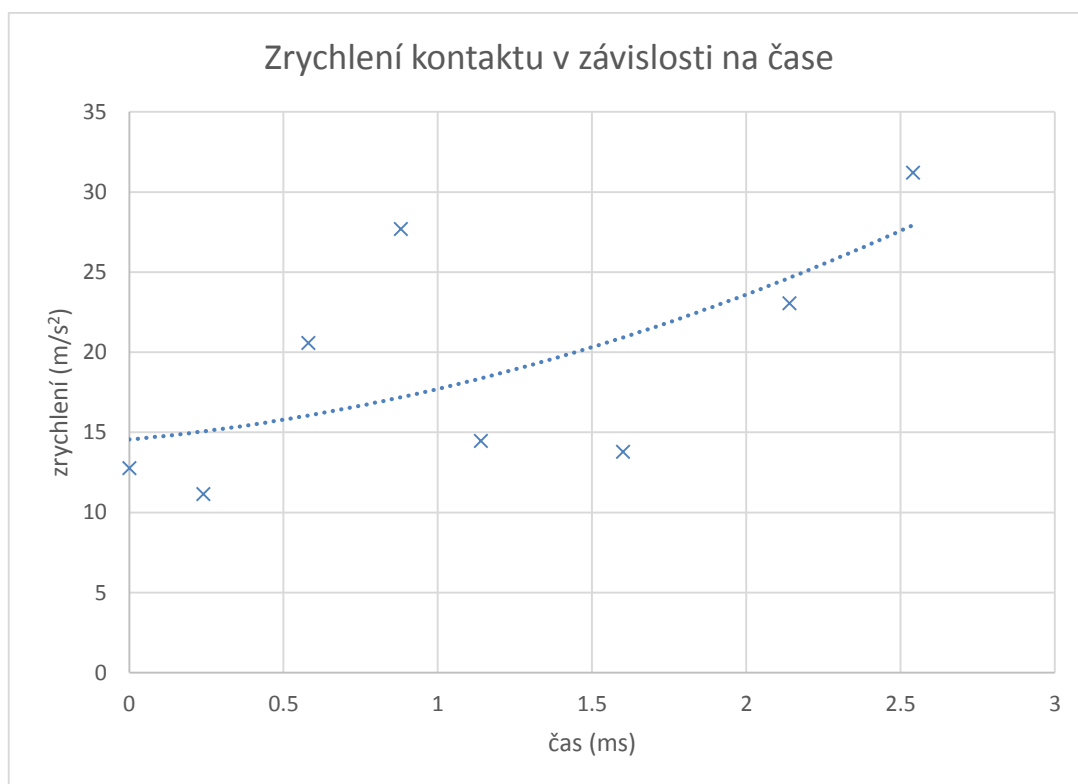
Graf 5.2) Časový průběh polohy v ose y



Graf 5.3) Dráha kontaktu v závislosti na čase



Graf 5.4) Rychlost kontaktu v závislosti na čase

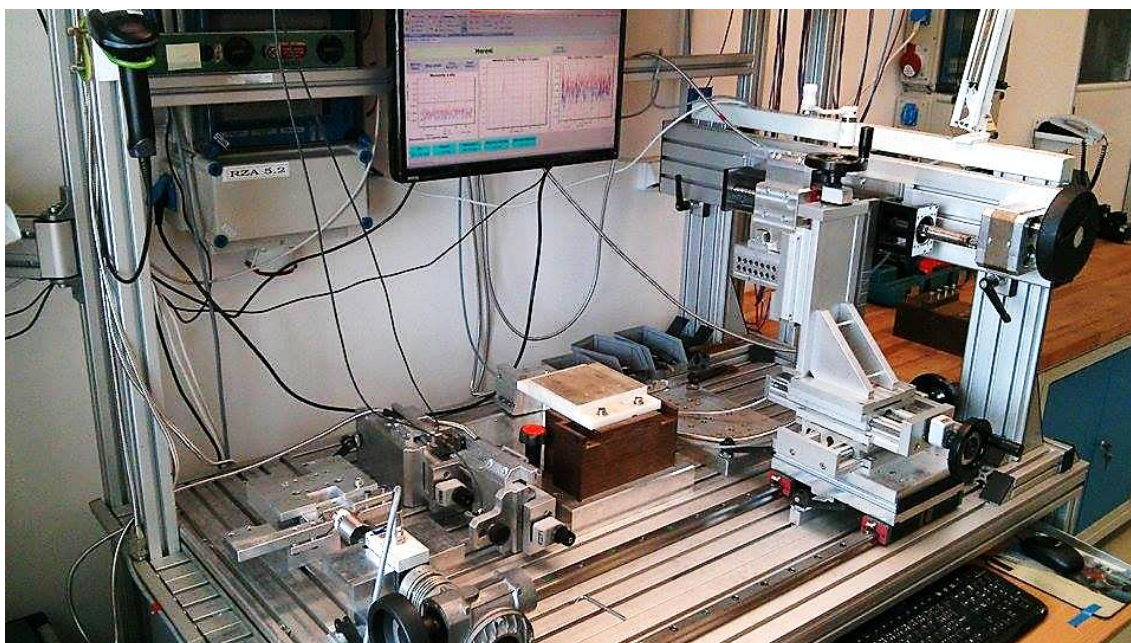


Graf 5.5) Zrychlení kontaktu v závislosti na čase

6 MĚŘENÍ SIL NA PÁCE JISTIČE

Jedním z cílů diplomové práce je vytvořit analýzu spouště jističe. Aby bylo možné analýzu zhodnotit, bylo provedeno měření na 3D stole, se kterým se bude pak analýza porovnávat. Konkrétně se měřily ovládací síly na páce jističe, a to pro všechny polohy.

Měření probíhalo na tzv. 3D stole za pomoci programu CatmanEasy AP. Jistič se přitáhne ke kovové desce a umístí pod pojezd. Pojezdem se pak pohybuje do doby, než se páka dotkne pojezdu, čímž se získá reference. Z této referenční polohy se pohybuje pojezdem, dokud se jistič nedostane do žádané polohy RESET/OFF. Pro případ OFF->ON je referenční bod nad hranou spouště a ne těsně před dotykem páky.

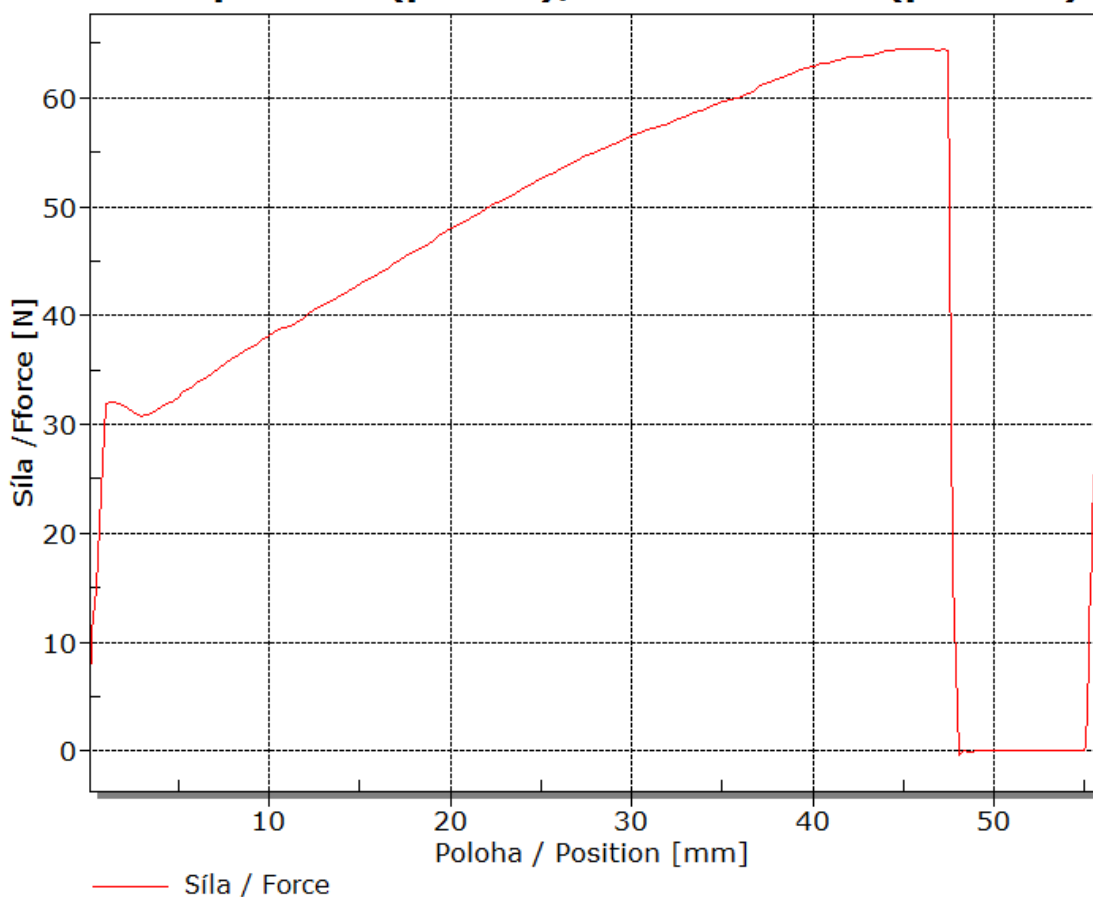


Obrázek 6.1) Fotka 3D stolu, na kterém se měřily ovládací síly jističe.

6.1 OFF-ON

Při zapínání jističe je třeba vynaložit pro první milimetr posunu páky sílu 30 N. Na následujících 45 milimetrech potřebná síla téměř lineárně narůstá s mnohem menší rychlostí až na 65 N, kdy dojde k spojení proudové dráhy a zaklapnutí páky do polohy ON.

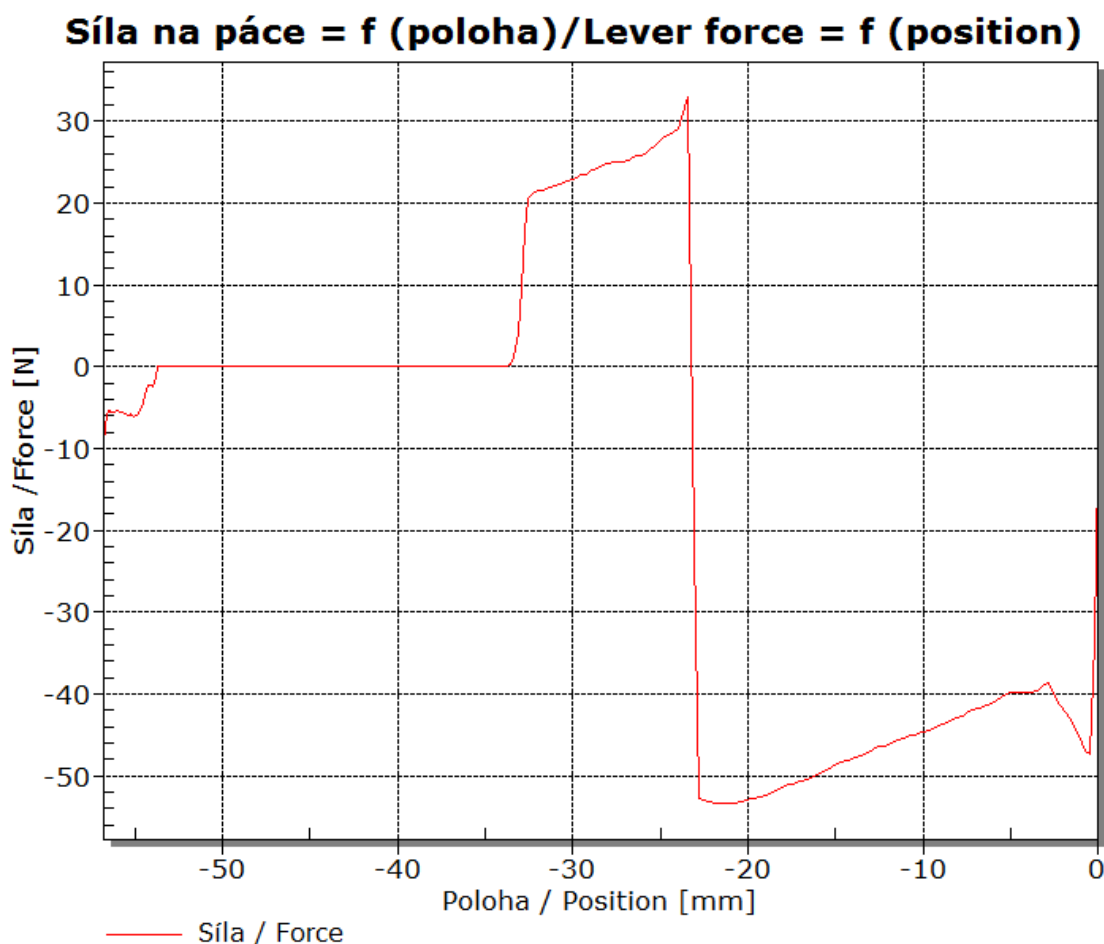
Síla na páce = f (poloha)/Lever force = f (position)



Graf 6.1) Změřená ovládací síla OFF-ON na 3D stole.

6.2 ON – OFF

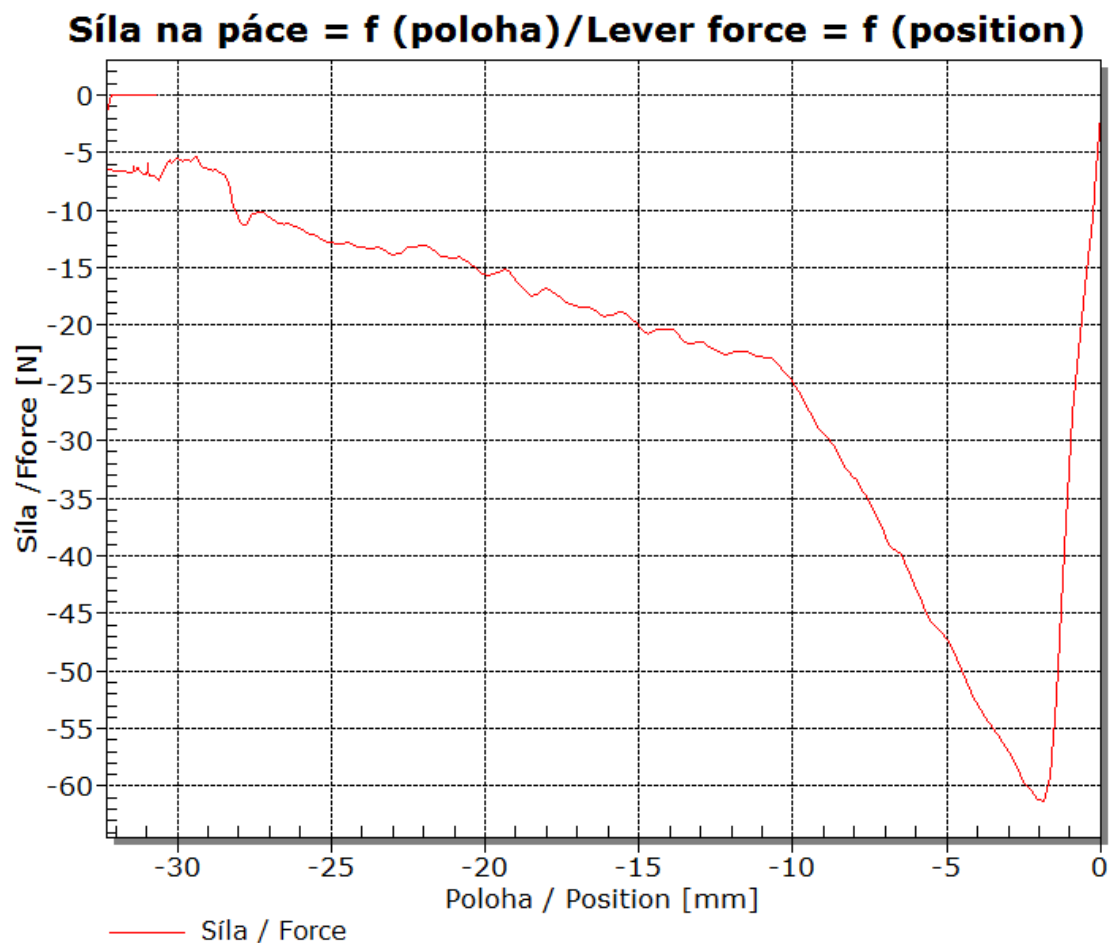
Při rozpínání proudové dráhy jističe je třeba v první polovině pohybové dráhy páky překonat sílu ne větší než 32 N. K překonání dojde zhruba v polovině dráhy, kterou vykonává páka. Pak dojde k překonání setrvačnosti, pružiny začnou vykonávat síly ve směru rozpojení kontaktů mezi rotoaktivní spouští a přívodními pasy do jističe.



Graf 6.2) Změřená ovládací síla ON-OFF na 3D stole.

6.3 TRIP-RESET

Při vybavení jističe je páka poháněna silou postupně narůstající až na 62 N, která ke konci vykonání operace prudce klesne.



Graf 6.3) Změřená ovládací síla TRIP-RESET na 3D stole.

7 SOFTWAREVÁ ANALÝZA JISTIČE

7.1 Modely jednotlivých součástí

K tomu, aby mohl být jistič namodelován, animován a simulován, bylo třeba nejprve získat jeho rozměrové výkresy, což se nakonec ukázalo jako poměrně zajímavý oříšek.

7.1.1 Varianta 1 – rozměrové výkresy přímo od výrobce

Jako nejlepší a nejpřesnější se jevílo sehnat rozměrové výkresy od výrobce, nebo ještě lépe přímo 3D model. Rozměry by pak byly naprosto přesné a dalo by se tedy předpokládat, že i výsledky by dosahovaly nejpřesnějších hodnot. To se nakonec ukázalo jako problematické, nikoliv však nelogické. Výrobci si zkrátka chrání svůj know-how. Nakonec tedy bylo nutné získat model nějak jinak.

7.1.2 Varianta 2 – vytvořit model pomocí 3D skeneru

Existují 3D skenery, které dokáží přesně odměřit a vytvořit 3D model daných součástek. Hojně se využívají v Číně, když potřebují okopírovat nějaké výrobky. Jeden takový 3D skener na fakultě máme. Jde konkrétně o ZScanner 800, jehož bylo využito již několikrát při zpracovávání závěrečných prací a nejinak tomu mělo být i v případě této závěrečné práce.

ZScanner 800 je ruční, laserový skener. Pro skenování je však nutné nejprve vytvořit vhodné podmínky. Toho bylo docíleno pořízením značek, které jsou snímány a které umožní skeneru vidět jejich vzájemnou polohu. Díky 3 kamerám snímá přístroj prostorově.

ZScanner po zpracování v PC vytváří STL povrchové modely, které je možné pak využít v dalších programech jako je Solidworks, AutoCAD apod. Zdálo se to jako vhodné řešení. Byly vytvořeny modely pro 6 součástek ze spínacího mechanismu jističe, které se snadno nainportovaly do programů pro další zpracování, a na první pohled vypadaly velmi přesně.

Byl zde ovšem jeden problém na první pohled jasně viditelný a druhý, který už nebyl tak zřejmý, nicméně později se objevil. Prvním problémem bylo to, že skener „nevidí“ dovnitř součástky. Snímá totiž jen povrchové a pro analýzu bylo třeba vytvořit objemové modely. To by se dalo obejít tím, že se vezme půdorys nebo jiný pohled z povrchového modelu, překreslí se xy souřadnic a pak se „vytáhne“ do třetího rozměru. Zcela jistě by to takto bylo možné použít a pořád by znamenalo výrazné ulehčení práce oproti klasickému přeměřování a překreslování. Nicméně objevil se ještě jeden problém a tím byla nepřesnost způsobená při vyhlazování a odstraňování chyb skenů. Při podrobném zkoumání jednotlivých součástí se ukázalo, že se rozměry poměrově liší až o jednotky milimetrů. Pracovat s takto nepřesnými rozměry by patrně postrádalo smysl, bylo tedy nutné vymyslet další variantu, která povede k vytvoření přesného modelu jističe.

7.1.3 Variant 3 – ruční kreslení za pomoci fotoaparátu

Třetí, nejpracnější možností bylo vyfocení součástky v pohledu bokorys, nárys a půdorys

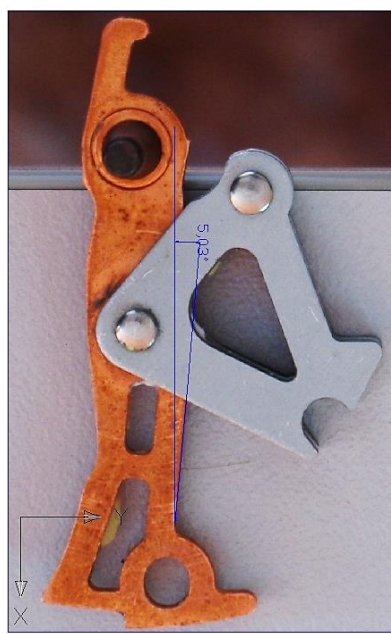
a jejich překreslení a namodelování. V tomto postupu však bylo nutné dodržet několik zásad.

- 1) Fotoaparát je ve statické poloze na stativu
- 2) Fotoaparát je přesně kolmo nad součástkou
- 3) Objektiv fotoaparátu je umístěn co nejbližší pomyslné ose procházející středem součástky
- 4) Při překreslování je nutné provést SCALE – tedy zvětšit součástku na reálné rozměry
- 5) Případně dorovnat vodorovné a svislé osy, aby se lépe kreslilo

Po dodržení těchto zásad však stále nebylo zřejmé, jestli bude přesnost dostatečná. To se prokázalo až při sestavování jednotlivých součástek do modelu, kde byly měřené odlišnosti v řádu desetin milimetrů – tedy desetinové oproti předchozí variantě.

7.1.4 Ukázka modelování v praxi

Součástka byla nejprve vyfocena, poté ořezána a vložena do AutoCADu. Kde byla srovnána do souřadného systému programu, aby se snáze kreslila a později snáze uchycovala do sestavy.



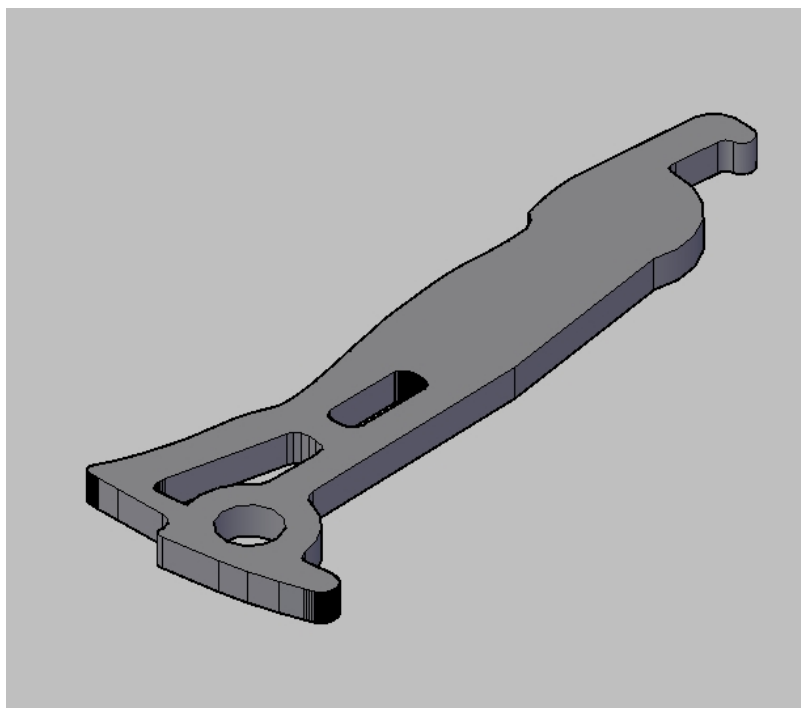
Obrázek 7.1) Fotografie vložena do CADu a odměřena úhlová odchylka od souřadného systému.

Následoval krok obkreslení obrysů se všemi kružnicemi, zaobleními, kolmými hranami a podobně.



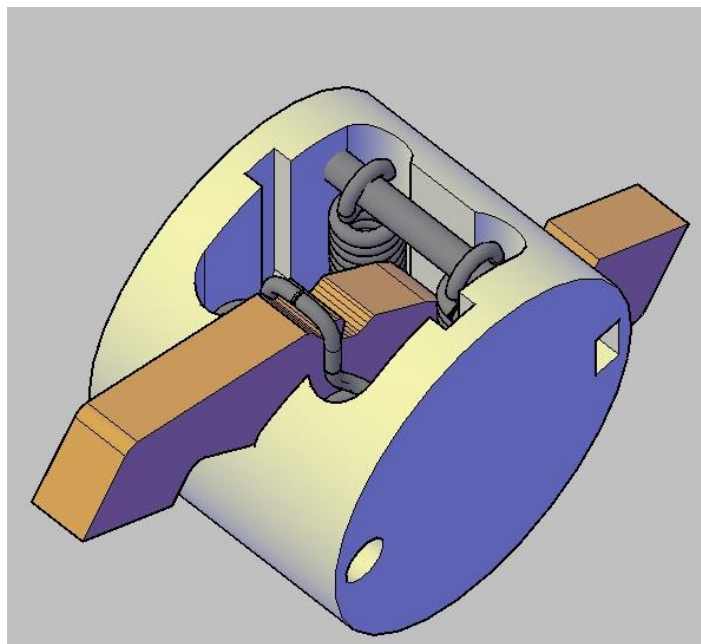
Obrázek 7.2) Fotografie otočena a obrys obkreslen.

Obrys byl pak převeden na jednu křivku, aby se mohl vytáhnout v třetí souřadnici souřadného systému.

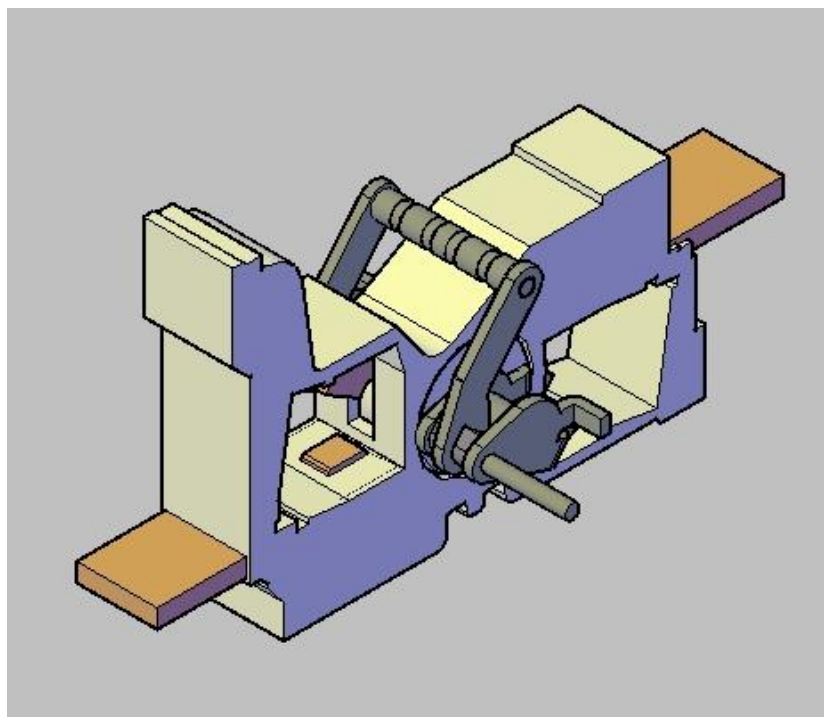


Obrázek 7.3) Obrys převeden na křivku a vytážen.

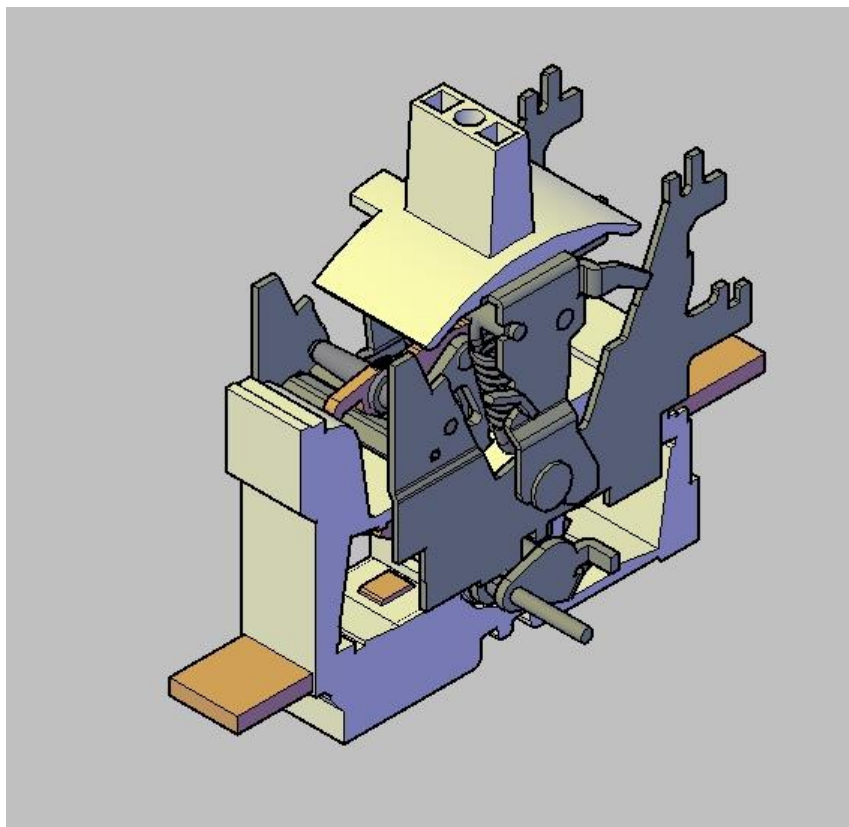
Podobným postupem byly vymodelovány všechny ostatní díly a sestaveny tak, jak k sobě patří.



Obrázek 7.4) Sestavování spínacího mechanismu - rotoaktivní spoušť.



Obrázek 7.5) Sestavování spínacího mechanismu - spoušť s plastovými částmi jističe připravena k napojení na pružiny.



Obrázek 7.6) Sestavování spínacího mechanismu - kompletní model v AutoCADu.

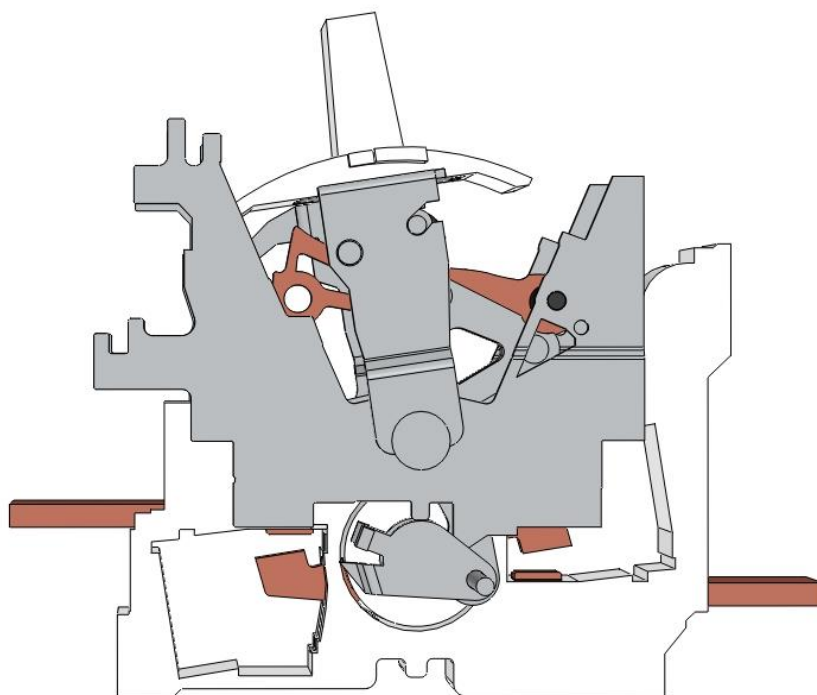
7.2 Sestavení celého modelu v Solidworksu

Stejně jako kreslení jednotlivých součástí, i první sestavování modelu probíhalo v AutoCADu. Jevilo se to jako jednodušší způsob pro případné malé dodělávky a opravy jednotlivých součástí. V AutoCADu není třeba nic vazbit, jednoduše se posune model nebo součást v xyz souřadnicích do pozice, ve které má být a není třeba definovat vazby typu sjednocení, rovnoběžné, soustředné atd.

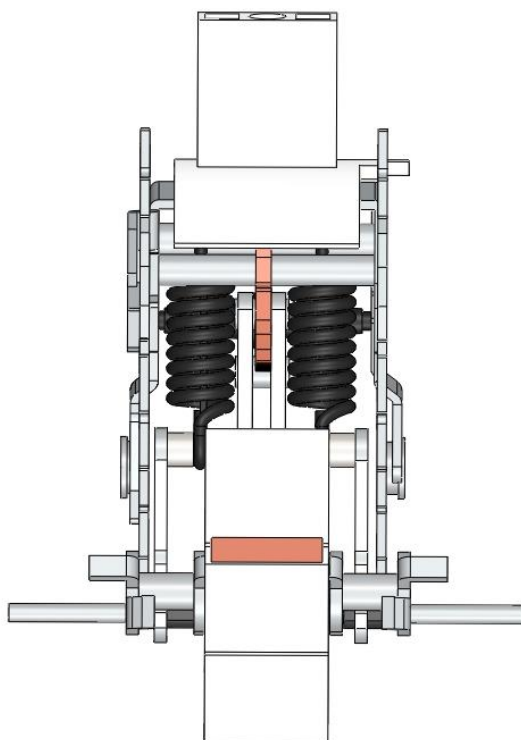
Jakmile byl spínací mechanismus sestaven ve finální podobě, nic nebránilo převedení výkresů z DWG do formátu součástí v Solidworksu. Přesněji řečeno nejde o převod, ale o import. Při importu je třeba nastavit, které vrstvy z modelu v CADu se mají převést, je třeba určit jednotky, ve kterých byla součástka kreslena a také je třeba následně definovat materiály. Materiály jsou dobré z důvodu zisku reálných barev v modelu a také k získání fyzikálních vlastností pro případné pohybové analýzy.

Všechny součástky mimo pružin byly importovány a umístěny v sestavě bez problémů, které by nešly odstranit. Pružiny byly v CADu modelovány pomocí spirály, po které se táhla kružnice (příkaz SWEEP) o průměru daného drátu, a očka pak byla dodělána pomocí kružnic a napojena na zbytek spirály 3D křivkou. Přes zmíněné prvky bylo samozřejmě nutné opět táhnout kružnici. Problém nastal patrně v bodě přechodu mezi očkem a zbytkem pružiny. Nepodařilo se to nastavit takovým způsobem, aby se při pohybu součástek jističe natahovala a smršťovala příslušná část pružiny odpovídající

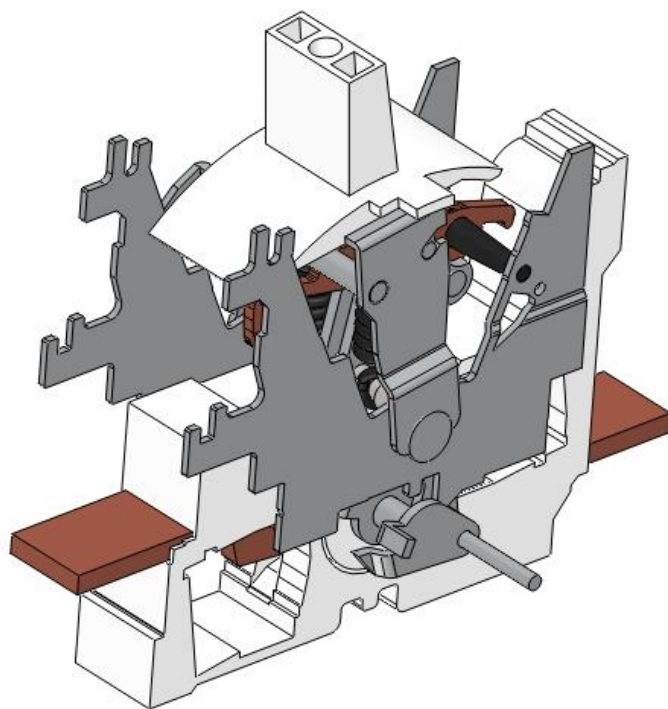
silou v odpovídajících souřadnicích. Tento problém se nepodařilo vyřešit a nepodařilo se dohledat řešení ani na odborných fórech, ani ve videonávodech.



Obrázek 7.7) Pohled na sestavu z boku.



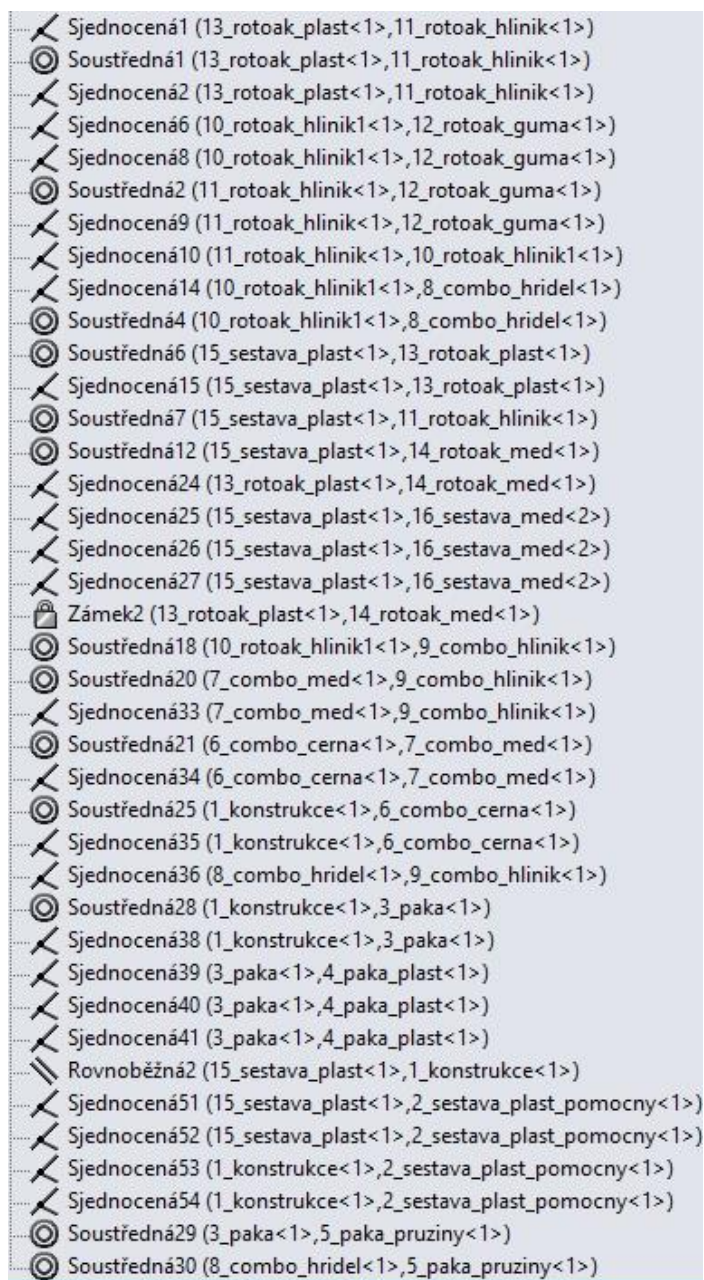
Obrázek 7.8) Pohled na sestavu zepředu.



Obrázek 7.9) Izometrický pohled na součástku.

7.3 Vazby

Jakmile byly všechny součástky převedeny do Solidworksu, nic nebránilo jejich sestavení. Zde se samozřejmě také vyskytly problémy, které bylo třeba odstranit. Ať už se jedná o kolize ve vazbách, zavazbení páky na počátek souřadného systému, kdy se pak při pohybu hýbalo celou soustavu kolem páky atd. Po několika pokusech a důsledného dodržování pravidla – co nejméně vazeb – se podařilo sestavit funkční model, který mohl být následně animován. Celkově bylo potřeba méně vazeb, než se předpokládalo. Bylo jich jen několik desítek.



Obrázek 7.10) Náhled do vazeb mezi díly v Solidworksu.

7.4 Animace

Vytvoření animace už je snadné, pokud je připravena dobrá sestava, která disponuje správnými vazbami. Stačí se přepnout v Solidworksu do Pohybové studie, definovat si klíčové snímky, ve kterých bude daný bod sestavy v dané poloze, a nechat program sám ať si dopočítá plynulé přechody. Mechanismus jističe má volnost v několika soustředně spojených součástkách. Konkrétně jde o rotoaktivní spoušť, která je spojena s pákou přes pružiny, ocelovou tyčku, jeden pár hliníkových madel a úchyt k rotoaktivní spoušti taktéž z hliníku. Ve správně definované sestavě se tedy pohybuje pouze jednou libovolnou součástkou na této cestě a zbytek se rozhybe sám přes vazby. Tak to bylo i v případě této

práce. V záložce Pohybová studie se vybral daný čas, posunulo nebo otočilo se některým z těles, které není plně zavazbeno, a video se vyexportovalo.

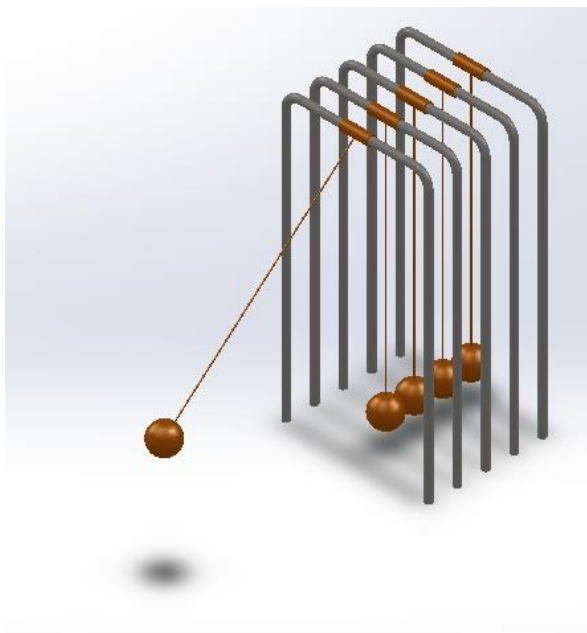
Animace byly vytvořeny dvě a obě jsou na přiloženém DVD. První z nich s názvem **sestava_dokola.avi** zobrazuje rotační pohled kolem vertikální osy ve středu jističe. Druhé video s názvem **sestava.avi** zachytává jistič při spínání. Nutno podotknout, že kvůli problému s natahováním a smršťováním pružin neodpovídá pohyb mechanismu zcela realitě. Pružina se v sestavě chová jako pevná spojnice mezi dvěma hřídelkami, což úplně neodpovídá realitě.

7.5 Analýza

7.5.1 Porovnání jednoduché úlohy a teoretických předpokladů

Pohybová simulace

Jako software pro analýzu byl zvolen Solidworks a to hlavně díky jeho nadstavbě Motion a taky díky tomu, že škola má výukové licence zdarma. S vedoucím DP jsme naznali, že než se bezhlavě vrhnout rovnou do komplikované simulace, bude lepší si vyzkoušet Motion na jednodušších úlohách a hlavně ověřit, jestli Motion počítá a simuluje dobře. V rámci tréninku byl tedy vytvořen jednoduchý model tzv. rázostroje, někdy též nazývaného Newtonovou houpačkou. Celý stroj má základ v matematickém kyvadle a demonstruje přenos energie a hybnosti. V našem případě jde o to, porovnat výsledky ze simulace s těmi, které se dají analyticky vypočítat.

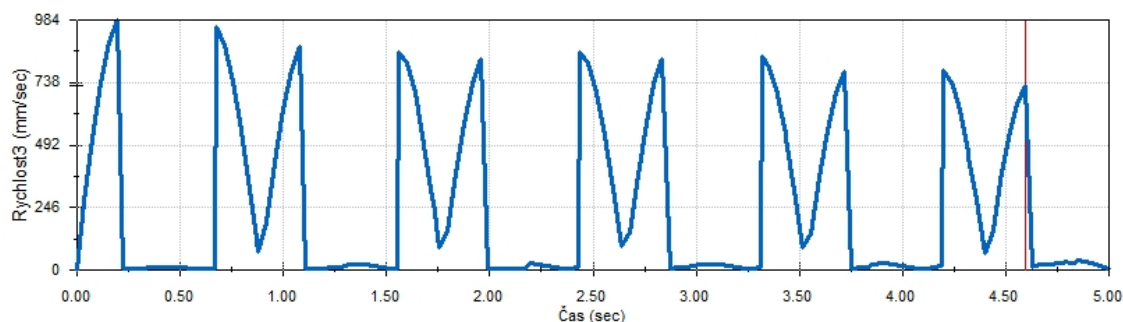


Obrázek 7.11) Rázostroj pro ověření výpočtů a analýz Solidworks Motionu.

Po nastavení příslušných vazeb má systém 5 stupňů volnosti a to volnost pro každé lano s kuličkou v rotačním pohybu. Pro potřeby simulace byla ještě nastavena gravitační síla

ve správném směru a kontakty mezi jednotlivými kuličkami s koeficientem restituce 1, aby byly dokonale pružné.

Jako ověřovací prvek byla vybrána rychlost pohybu první kuličky těsně před srážkou. Z grafického záznamu pohybu kuličky číslo 1 během času 4 sekund, lze vyčíst, že pohyb těsně před srážkou byl **984 mm/s**. Důležité je poznamenat, že této rychlosti bylo dosaženo při výchylce první kuličky ve směru osy y o **54 mm**.



Graf 7.1) Výsledné hodnoty nasimulované na rázostroji.

Výpočty

Analytický výpočet pro prověření správnosti simulace můžeme provést například přes zákon zachování energie. Zanedbáme-li změnu vnitřní energie kuliček v souvislosti s třením, pak můžeme uvažovat, že potenciální energie, která je na počátku ve vychýlené kuličce, bude těsně před první srážkou plně přeměněna v energii kinetickou.

$$E_k = 0,5 m v^2$$

$$E_p = m g h$$

Triviálním porovnáním těchto dvou rovnic dojdeme k výslednému vzorci pro rychlost v případě, že soustava má nulovou potenciální a maximální kinetickou energii.

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,806 \cdot 0,054} = 1,029 \frac{m}{s} = 1029 \frac{mm}{s}$$

Zhodnocení

Výsledky 984 mm/s z pohybové simulace a 1029 mm/s z výpočtu se liší vzhledem k našim zjednodušujícím předpokladům v řádu jednotek procent. Můžeme tedy směle prohlásit, že Solidworks Motion v testovací úloze obstál.

7.5.2 Analýza sestavy v softwaru Solidworks

Při zpracovávání analýzy v programu Solidworks Motion se vyskytl problém s pružinami, které jsou v podstatě jedinou vnitřní silou působící ve spoušti jističe. V softwaru je snadné nadefinovat pružinu, která působí sílu ať už ve směru roztahování, nebo smršťování, pokud je pohyb vykonáván staticky pouze v jedné ose. Problém ovšem nastává při tom, když je pružina sama v pohybu v různých směrech souřadného systému. Vzhledem k nečekaným časovým nárokům v souvislosti s neobdržením rozměrových výkresů

jednotlivých součástí od společnosti EATON, na samotnou analýzu nezbývalo tolik času, aby bylo možné tento problém odstranit.

8 ZÁVĚR

Diplomová práce měla být původně ve spolupráci s rakouskou pobočkou firmy EATON, nicméně nepanovala zde shoda na tématu a práce tedy nakonec probíhala pouze pod UVEE FEKT VUT s tím, že byl použit pro praktickou část jistič EATON NZMB2-A125, který byl i předmětem předchozí Bakalářské práce na téma Tepelná analýza proudové cesty výkonového jističe nízkého napětí.

Práce byla teda zaměřena na mechaniku spouští jističe. V první fázi byla nastudována a popsána teorie ohledně jističů obecně, potom o různých druzích spouští a následovalo analytické naznačení výpočtů sil působících v jističi.

Následovala část spojená s vysokorychlostní kamerou a analýzou pohybu spouště v čase. Po seznámení s ovládáním byla navštívena laboratoř, zaznamenáno zapínání a vypínání jističe při rychlostech 50 000 a 10 000 snímků za sekundu, a potom byl záznam zpracován. Pomocí softwaru byla určena trajektorie, rychlosti, zrychlení, nebo třeba čas za jaký jistič vybavil. Jeden kontakt jističe NZMB2-A125 urazí před dostáním se do nejvzdálenější polohy dráhu zhruba 19 mm a trvá mu to necelé 3 ms. Dosahuje přitom rychlostí až 8,5 metrů za sekundu.

Následně se práce ubírala směrem složitějšího překreslování geometrie a modelování spínacího mechanismu v AutoCADU, byť se tímto směrem vůbec ubírat nemusela, pokud by nám byly poskytnuty podklady přímo z EATONu a bylo by více času na pokusech směřujících k vyřešení problému s pružinami při analýze v Solidworks Motion. Vznikly dva kompletní modely celého spínacího mechanismu. Jeden v AutoCADu a jeden v Solidworksu. Tyto modely jsou přiloženy na DVD. Sestava se skládá z 16 dílů, přičemž každý je samostatně zavazben a každý má definovaný materiál a s ním i fyzikální vlastnosti.

Cílem této práce bylo vytvořit model s definovanými materiály jednotlivých součástí a správně definovanými, funkčními pružinami, aby byly vytvořeny podklady, které by mohly být použity pro optimalizaci spínacího mechanismu jističe. První milník – funkční model s přesnými rozměry a definovanými materiály byl pokořen, avšak úplná přesnost z hlediska mechanického pohledu nebyla dosažena.

LITERATURA

- [1] INSTITUT OF ELECTRICAL ENGINEERS. *Power circuit breaker theory and design*. Londýn: Peter Peregrinus Ltd., 1985. ISBN 0-906048-70-2.
- [2] VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A ELEKTROTECNICKÁ V PLZNI. *Konstrukce elektrických přístrojů 1. díl*. Plzeň 1966: ediční středisko VŠSE.
- [3] VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A ELEKTROTECNICKÁ V PLZNI. *Konstrukce elektrických přístrojů 2. díl*. Plzeň 1966: ediční středisko VŠSE.
- [4] VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Mechanika pro silnoproudou elektrotechniku a elektroenergetiku*. Brno 2000: VUITIUM. ISBN 80-214-1662-9.
- [5] Vacuum Circuit Breaker or VCB and Vacuum Interrupter. *Electrical Engineering Study Site* [online]. [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.electrical4u.com/vacuum-circuit-breaker-or-vcb-and-vacuum-interrupter/>
- [6] Photron. *Specifications Fastcam SA-X2* [online]. [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: http://www.photron.com/?cmd=product_general&product_id=39
- [7] TV FREAK. *Vysokorychlostní kamera v akci* [online]. [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <http://www.tvfreak.cz/vysokorychlostni-kamera-v-akci/3762>
- [8] Dassault Systemes Solidworks Corporation. *Training: Solidworks Motion 2012*. Massachusetts USA 2011: DOC NUMBER: PMT1242-ENG.

SEZNAM GRAFŮ

Graf 5.1) Poloha kontaktů v xy souřadnicích	25
Graf 5.2) Časový průběh polohy v ose y	26
Graf 5.3) Dráha kontaktu v závislosti na čase	26
Graf 5.4) Rychlost kontaktu v závislosti na čase	27
Graf 5.5) Zrychlení kontaktu v závislosti na čase	27
Graf 6.1) Změřená ovládací síla OFF-ON na 3D stole	29
Graf 6.2) Změřená ovládací síla ON-OFF na 3D stole	30
Graf 6.3) Změřená ovládací síla TRIP-RESET na 3D stole.	31
Graf 7.1) Výsledné hodnoty nasimulované na rázostroji.	41

SEZNAM TABULEK

Tabulka 4.1) Specifikace kamery FASTCAM SA-XA pro různé počty snímků za sekundu [6].	15
Tabulka 4.2) Specifikace vysokorychlostní kamery Photron SA-X2 [6].	16
Tabulka 5.1) Naměřené a vypočtené hodnoty kontaktu	23
Tabulka 8.1) Seznam výkresů.....	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1) Vzduchový jistič Westinghouse, 1929 (15 kV) se schématem žebrování [1]	3
Obrázek 2.1) Pákový mechanismus [2].	5
Obrázek 2.2) Kloubový mechanismus [2].	6
Obrázek 2.3) Mechanismus klikový [2].	7
Obrázek 2.4) Mechanismus vahadlový [2].	7
Obrázek 2.5) Přesný eliptický přímovod [2].	8
Obrázek 2.6) Západka [2].	9
Obrázek 3.1) Síly v tělese konající posuvný a rotační pohyb [2]	11
Obrázek 5.1) Dominantní částí jističe je vypínač s dvěma pružinami, které silově zajišťují rozpojování obvodu.	18
Obrázek 5.2) 1 pól rotoaktivní spouště.	19
Obrázek 5.3) Zhášecí komora elektrického oblouku.	19
Obrázek 5.4) Jistič byl poté opět složen.	20
Obrázek 5.5) Rozestavení zkoumaného vzorku, videokamery a halogenových svítidel po stranách.	21
Obrázek 5.6) Pracoviště z druhé strany.	21
Obrázek 5.7) Pro další výpočty bylo potřeba znát rozměr pixelu v mm. Toho bylo docíleno za použití posuvného měřítka.	22
Obrázek 6.1) Fotka 3D stolu, na kterém se měřily ovládací síly jističe.	28
Obrázek 7.1) fotografie vložena do CADu a odměřena úhlová odchylka od souřadného systému.	33
Obrázek 7.2) Fotografie otočena a obrys obkreslen.	34
Obrázek 7.3) Obrys převeden na křivku a vytážen.	34
Obrázek 7.4) Sestavování spínacího mechanismu - rotoaktivní spoušť.	35
Obrázek 7.5) Sestavování spínacího mechanismu - spoušť s plastovými částmi jističe připravena k napojení na pružiny.	35
Obrázek 7.6) Sestavování spínacího mechanismu - kompletní model v AutoCADu.	36
Obrázek 7.7) Pohled na sestavu z boku.	37
Obrázek 7.8) Pohled na sestavu zepředu.	37
Obrázek 7.9) Izometrický pohled na součástku.	38
Obrázek 7.10) Náhled do vazeb mezi díly v Solidworksu.	39

Obrázek 7.11) Rázostroj v Solidworksu.	40
---	----

PŘÍLOHA

Přílohou k diplomové práci je DVD se všemi modely, které byly vytvořeny. Pokud by z jakéhokoliv důvodu nečetla vaše DVD mechanika přiložený disk, data najdete i zde: <http://goo.gl/1U3MsF>.

Základní hierarchii tvoří tři složky, ve kterých jsou jednotlivé datové soubory z AutoCADu, Solidworksu, případně videa.

AutoCAD

Ve složce **NZBM2-A125_AutoCAD** je jediný soubor **Sestava.dwg**, ve kterém je kompletní sestava všech částí mechaniky jističe NZMB2-A125.

Solidworks

Ve složce **NZBM2-A125_Solidworks** je sestava z AutoCADu rozsekána do 16 dílů, což se ukázalo je nejmenší počet dílů potřeba ke správnému zavazbení a ke správné definici materiálů. Mimo jednotlivých dílů je zde i jejich zavazbená sestava v souboru **Sestava.SLDASM**.

Videa

Třetí složka **NZBM2-A125_Videa** obsahuje 2 animace vyexportované ze Solidworksu a video natočené vysokorychlostní kamerou. První z nich **sestava_dokola.avi** obléhá jeden pól jističe ve statické poloze kolem dokola. Druhé video **sestava_zapnutí.avi** je animace pohybu rotoaktivní spouště při zapnutí. Třetí **50kfps_vypnutí** zobrazuje kontakty jističe při vypnutí natočené vysokorychlostní kamerou při 50 000 snímcích za sekundu.

Tabulka 8.1) Seznam výkresů

NZMB2-A125_AutoCAD	Sestava
NZMB2-A125_Solidworks	1_konstrukce
NZMB2-A125_Solidworks	2_sestava_plast_pomocny
NZMB2-A125_Solidworks	3_paka
NZMB2-A125_Solidworks	4_paka_plast
NZMB2-A125_Solidworks	5_paka_pruziny
NZMB2-A125_Solidworks	6_combo_cerna
NZMB2-A125_Solidworks	7_combo_med
NZMB2-A125_Solidworks	8_combo_hridel
NZMB2-A125_Solidworks	9_combo_hlinik
NZMB2-A125_Solidworks	10_rotoak_hlinik1
NZMB2-A125_Solidworks	11_rotoak_hlinik
NZMB2-A125_Solidworks	12_rotoak_guma
NZMB2-A125_Solidworks	13_rotoak_plast
NZMB2-A125_Solidworks	14_rotoak_med
NZMB2-A125_Solidworks	15_sestava_plast
NZMB2-A125_Solidworks	16_sestava_med
NZMB2-A125_Solidworks	Sestava
NZMB2-A125_Videa	sestava_dokola
NZMB2-A125_Videa	sestava_zapnuti
NZMB2-A125_Videa	50kfps_vypnuti